



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV MIKROELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF MICROELECTRONICS

ŠESTINOHÝ KRÁČIVÝ ROBOT

HEXAPOD ROBOT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Pizúr

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Mikroelektronika a technologie**

Ústav mikroelektroniky

Student: Lukáš Pizúr

Ročník: 3

ID: 173726

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Šestinohý kráčivý robot

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Navrhněte a realizujte elektrické zapojení šestinoého kráčivého robota, které bude umožňovat jeho plynulý pohyb. Robota realizujte včetně mechanické konstrukce. Zařízení navrhněte tak, aby bylo možné jeho ovládání přes bezdrátovou síť a sledovat jeho pohyb pomocí kamery. Při návrhu kladte důraz na možnost vzdáleného sledování robota pomocí vhodného uživatelského rozhraní.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6. 2. 2017

Termín odevzdání: 8.6.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

Konzultant:


doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda oborové rady



UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Cílem této práce je návrh šestinohého kráčivého robota, který je ovládaný pomocí bezdrátové technologie WiFi a je vybaven kamerou, která umožňuje sledovat pohyb robota. V první části jsou popsány možné algoritmy pohybu šestinohého robota, pohonné jednotky a princip servomotoru a jeho řízení. Různé varianty snímačů, které lze pro návrh robota použít. Dále jsou naznačeny možné způsoby výroby mechanické konstrukce a materiály pro její výrobu. Druhá část je věnována praktické realizaci robota. Návrh mechanické konstrukce a její výroba. Návrh elektroniky, firmwaru robota a řídicího softwaru pro jeho ovládání.

KLÍČOVÁ SLOVA

Šestinohý robot, hexapod, servomotor, akcelerometr, gyroskop, kamera, WiFi, ATmega, ARM

ABSTRACT

The aim of this work is the design of a six-foot walking robot, which is controlled by wireless WiFi technology and equipped with a camera that allows to monitor the movement of the robot. The first part describes the possible algorithms for the movement of the six-legged robot, the drive unit and the principle of the servomotor and its control. Different sensor variants that can be used for robot design. Further, possible ways of manufacturing the mechanical structure and materials for its production are outlined. The second part is devoted to the practical realization of the robot. Design of mechanical construction and its production. Design of electronics, robot firmware and control software to control it.

KEYWORDS

Six-legged robot, hexapod, servo-motor, accelerometer, gyroscope, camera, WiFi, ATmega, ARM

PIZÚR, L. Šestinohý kráčivý robot. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 64 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Pavel Šteffan, Ph.D.

Prohlášení

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma **šestinohý kráčivý robot** jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 8. června 2017

.....

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Pavlu Šteffanovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování projektu.

V Brně dne 8. června 2017

.....

podpis autora

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ	8
SEZNAM TABULEK	9
ÚVOD	10
1 TEORETICKÁ ČÁST	11
1.1 Princip chůze šestinohého robota	11
1.1.1 Tři nohy v záběru	11
1.1.2 Čtyři nohy v záběru	12
1.2 Pohony robota	14
1.2.1 Modelářský servomotor	14
1.2.2 Servomotor EMAX ES08MD	15
1.3 Snímače polohy a detekce překážek	15
1.3.1 Mechanické dorazové spínače	16
1.3.2 Indukční a kapacitní senzory	16
1.3.3 Infračervené senzory a modul Pololu IR Proximity Sensor	17
1.3.4 Ultrazvukové senzory a modul HC-SR04	18
1.3.5 Akcelerometr	20
1.3.6 Gyroskop	21
1.3.7 Modul GY-521	22
1.4 Bezdrátová komunikace	22
1.4.1 Bluetooth	22
1.4.2 RF přijímače/vysílače	22
1.4.3 WiFi	23
1.4.4 WiFi modul ESP8266	23
1.5 Kamera Arducam Mini s OV2640 senzorem	24
1.6 Vybrané mikrokontrolery	25
1.6.1 Mikrokontrolér ATmega328P	25
1.6.2 Mikrokontrolér STM32F303CCT6	25
1.7 Možnosti výroby mechanické konstrukce	26
1.7.1 Volba materiálů	26
1.7.2 Výroba dílů na 3D tiskárně	27

1.7.3	Materiály pro 3D tisk:	27
2	PRAKTICKÁ ČÁST	28
2.1	Návrh mechanické konstrukce robota	28
2.2	Výroba mechanické konstrukce	29
2.2.1	3D tiskárna a použité nastavení	30
2.3	Návrh elektroniky robota	31
2.4	Zdrojová deska	31
2.4.1	Lineární stabilizátory napětí	32
2.4.2	DC – DC měnič s obvodem LT3976	33
2.4.3	Mikrokontrolér ATmega328P a řízení servomotorů	33
2.5	Hlavní řídicí deska	35
2.5.1	Zapojení mikrokontroleru STM32F303CCT6	36
2.5.2	Paměť Flash N25Q064A	37
2.5.3	Zapojení modulu GY-521	37
2.5.4	Zapojení ultrazvukového senzoru	37
2.5.5	Zapojení WiFi modulu a kamery	38
2.6	Firmware	38
2.6.1	Nahrávání firmwaru do mikrokontrolerů	38
2.6.2	Firmware zdrojové desky	40
2.6.3	Firmware řídicí desky	43
2.6.4	Firmware WiFi	46
2.7	Ovládací software	47
2.7.1	Webové rozhraní	47
2.7.2	Program pro operační systém	48
3	ZÁVĚR	50
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	52
	SEZNAM PŘÍLOH	54

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Princip chůze – 3 nohy v záběru.....	12
Obr. 2: Princip chůze – 4 nohy v záběru.....	13
Obr. 3: Blokové schéma řídicí elektroniky servomotoru [2]	14
Obr. 4: Závislost natočení servomotoru na šířce řídicího impulsu	15
Obr. 5: Koncový spínač používaný v průmyslu [5].....	16
Obr. 6: Mikrospínač [5].....	16
Obr. 7: Příklad indukčních a kapacitních snímačů používaných v průmyslu.....	16
Obr. 8: Pololu 38 kHz IR Proximity Sensor [8]	17
Obr. 9: Blokové schéma ultrazvukového senzoru [9]	18
Obr. 10: Ultrazvukový senzor HC-SR04 [10]	19
Obr. 11: Vyzařovací charakteristika	19
Obr. 12: Časový diagram průběhů signálů modulu HC-SR04.....	19
Obr. 13: Princip kapacitního akcelerometru [12]	20
Obr. 14: Působení Coriolisovy síly na mechanický gyroskop [13]	21
Obr. 15: Realizace gyroskopu v technologii MEMS [13]	21
Obr. 16: Modul GY-521 [15].....	22
Obr. 17: Modul ESP8266 [19].....	23
Obr. 18: Blokové schéma obvodu ESP8266 [19].....	24
Obr. 19: Blokové schéma kamery Arducam Mini s OV2640 [20].....	25
Obr. 20: Modul ArduCam Mini s OV26040 [20].....	25
Obr. 21: Návrh šestinožného robota v programu Solidworks	28
Obr. 22: Robot sestavený z kovových materiálů.....	29
Obr. 23: Robot sestavený z plastových dílů.....	29
Obr. 24: Použitá 3D tiskárna Anet A6	30
Obr. 25: Blokové schéma návrhu elektroniky robota	31
Obr. 26: Blokové schéma zdrojové desky.....	31
Obr. 27: Zapojení lineárních stabilizátorů napětí.....	32
Obr. 28: Zapojení DC – DC měniče s obvodem LT3976	33
Obr. 29: Zapojení ATmegy328P s jedním demultiplexorem.....	34
Obr. 30: Blokové schéma řídicí jednotky	35
Obr. 31: Rozložení pinů konektoru, který propojuje zdroj a řídicí desku	35

Obr. 32: Realizovaná řídící deska.....	36
Obr. 33: Zapojení mikrokontroléru STM32F303CCT6.....	36
Obr. 34: Zapojení Flash paměti N25Q064A	37
Obr. 35: Zapojení modulu GY-521	37
Obr. 36: Zapojení ultrazvukového senzoru	37
Obr. 37: Zapojení WiFi modulu a kamery	38
Obr. 38: Vývojový diagram firmwaru zdrojové desky	41
Obr. 39: Vývojový diagram generování řídících impulsů pro servomotory	42
Obr. 40: Ukázka programu STM32Cube	43
Obr. 41: Vývojový diagram firmwaru řídící desky	44
Obr. 42: Příklad komunikačního rámce pro dvoubajtový příkaz	45
Obr. 43: Příklad komunikačního rámce pro čtyřbajtový příkaz.....	45
Obr. 44: Vývojový diagram hlavní smyčka firmwaru WiFi modulu	46
Obr. 45: Webové rozhraní pro ovládání robota.....	47
Obr. 46: Uživatelské rozhraní pro operační systém	48
Obr. 47: Kalibrační okno uživatelského rozhraní	49

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Parametry servomotoru EMAX ES08MD [4]	15
Tab. 2: Parametry modulu Pololu IR Proximity Senzor [8]	17
Tab. 3: Parametry ultrazvukového senzoru HC-SR04 [10]	18
Tab. 4: Parametry modulu GY-521 [14]	22
Tab. 5: Parametry obvodu ESP8266 [19].....	23
Tab. 6: Parametry modulu Arducam Mini s OV2640 senzorem [20]	24
Tab. 7: Parametry mikrokontroléru ATmega328P [21].....	25
Tab. 8: Parametry mikrokontroléru STM32F303CCT6 [22]	26
Tab. 9: Základní tiskové parametry 3D tiskárny Anet A6 [26]	30
Tab. 10: Parametry lineárních stabilizátorů UA78MXX [27]	32
Tab. 11: Příkazy řídící jednotky - dvoubajtové.....	44
Tab. 12: Příkazy řídící jednotky - čtyřbajtové	45

ÚVOD

Robotika je v dnešní době rychle se rozvíjející obor a nachází široké uplatnění v mnoha odvětvích. Je například nedílnou součástí automatizace v průmyslové výrobě, kde je snaha nahradit lidskou práci stroji a zrychlit tak výrobní proces. Zde se vyskytuje mnoho různých robotů od velkých robotických ramen, která umožňují manipulaci s předměty, sestavování a svařování konstrukcí, až po jednodušší CNC stroje (řezací plasmy, obráběcí stroje, atd.). Náročnější aplikace robotiky lze nalézt ve zdravotnictví, například robot, který umožňuje provádět operace na dálku nebo složitější zákroky, které by se nedali bez něj vykonat. Vojenská a vesmírná technika je dalším odvětvím, kde lze robotiku nalézt, ovšem zde se vyskytují spíše pohybliví se roboti, kteří umožňují průzkum terénu či různé špionáže. V těchto náročnějších aplikacích je kladen velký důraz na spolehlivost, přesnost robota a schopnost práce v obtížnějším prostředí, terénu.

Pohybliví se roboti mohou být rozděleni podle typu podvozku nebo systému, který jim umožňuje pohyb. Každý pohybový aparát má své výhody i nevýhody a je nutné vybírat vhodný typ podle terénu, do kterého bude robot nasazen. Například robot pohybliví se pomocí kol bude rychlejší, méně náročný na řízení a výrobu. Ovšem takový typ robota bude určený spíše na rovný terén, na velmi nerovném povrchu nemusí docházet k jeho pohybu. Řešením může být robot s pásy, ale může dojít ke snížení rychlosti pohybu robota. Dále tento problém může být řešen pomocí robotů, kteří se pohybují pomocí jednoho až několika párů noh, takzvaní kráčiví roboti. Tito roboti napodobují lidský či zvířecí pohyb. Zvládají pohyb v náročnějším terénu, ale mnohdy za cenu nižší rychlosti pohybu. Řízení těchto robotů může být značně komplikovanější, jelikož se skládají z několika motorů a výsledný pohyb je ovlivněn jejich vzájemnou spoluprací.

Dále je nezbytné, kromě pohybového aparátu, vybavit robota různými snímači okolního prostředí. Robot, který se má v terénu pohybovat sám, musí být vybaven detektory překážek. Například ultrazvukové nebo infračervené detektory umí nejeden překážku detekovat, ale i zjistit jak daleko se nachází. Pokud je potřeba měřit úhel naklonění robota měl by obsahovat gyroskop a akcelerometr. Úhel naklonění je nutné řešit u robotů, kteří musí udržovat rovnováhu, například dvounohý kráčivý robot nebo různé typy létajících dronů.

Tato práce se zabývá šestinohým kráčivým robotem. Tento robot bude ovládaný pomocí bezdrátové technologie WiFi. Robot bude obsahovat kameru, která bude v reálném čase posílat zachycené snímky přes WiFi. Robot bude také vybaven několika snímači, které budou napomáhat orientaci v prostoru. K ovládání bude sloužit webové rozhraní uložené přímo v robotovi, proto k jeho řízení a sledování obrazu z kamery bude stačit pouze zařízení s WiFi připojením a webovým prohlížečem.

1 TEORETICKÁ ČÁST

Tato část se bude zabývat výběrem vhodných řešení při návrhu robota. V první řadě bude uveden princip chůze šestinohého robota. Další části se budou zabývat možnými pohony robota, snímači polohy a okolního prostředí, bezdrátovou komunikací, volbou kamery a možnostmi výroby mechanické konstrukce.

1.1 Princip chůze šestinohého robota

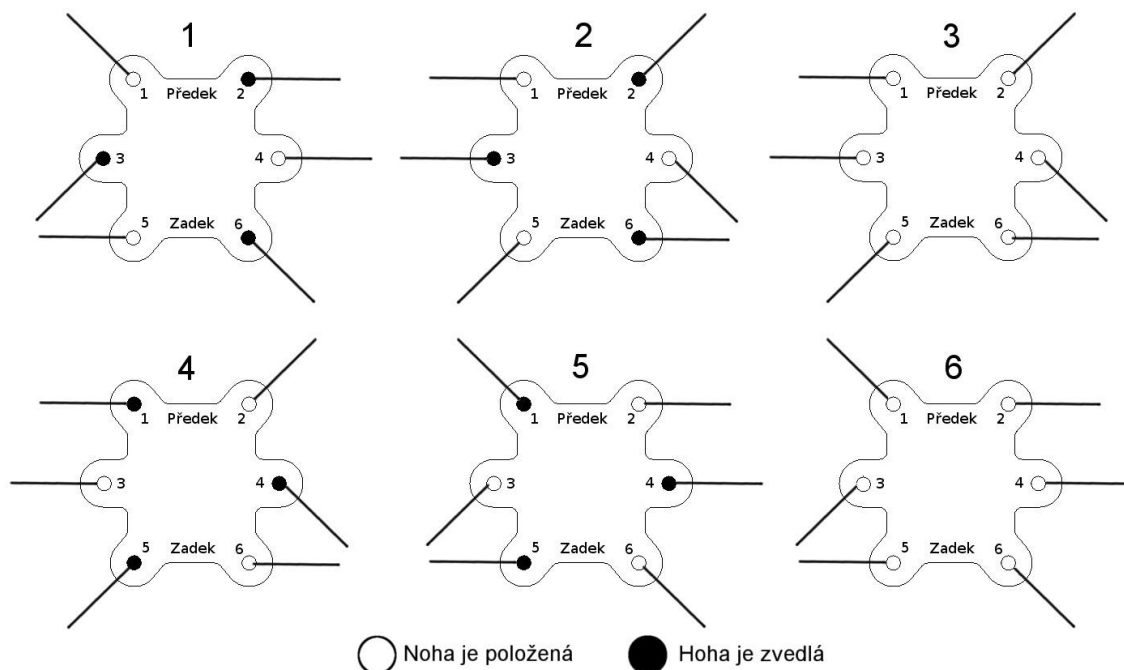
Šestinohý kráčivý robot disponuje šesti končetinami, které jsou připevněny k šestiúhelníkovému nebo obdélníkovému tělu. Každá noha musí mít minimálně dva stupně volnosti, aby byl robot schopen pohybu. To znamená, že nohu musí být možné zvednout a otočit. Z hlediska statické stability je šestinohý robot nucen stát minimálně na třech nohách. A právě podle počtu noh, na kterých robot stojí v záběru, je možné rozlišovat až šest možných způsobů kráčení. Samozřejmě každý způsob má své výhody i nevýhody. Počet noh v záběru určuje stabilitu a nosnost robota, je jasné, že pokud robot stojí na více nohách zároveň, je jeho stabilita a nosnost lepší, ovšem řízení je složitější, a dokonce i rychlost pohybu může být nižší.

1.1.1 Tři nohy v záběru

Vzhledem k řízení se jedná o nejjednodušší způsob chůze šestinohého kráčivého robota. V jednom okamžiku stojí robot právě na třech nohách, což má za následek větší namáhání servomotorů daných noh a nosnost robota je v tomhle případě nejnižší. Nohy se při pohybu natáčí pouze do dvou poloh, z čehož plyne právě ona jednoduchost řízení motorů. [1]

Algoritmus pohybu je patrný na obrázku č. 1:

1. Zvednutí noh č. 2, 3, 6
2. Přesunutí všech noh do opačné polohy. Nohy č. 1, 4, 5 posunou robota vpřed a nohy č. 2, 3, 6 se připraví
3. Položení noh č. 2, 3, 6
4. Zvednutí noh č. 1, 4, 5
5. Přesunutí všech noh do opačné polohy. Nohy č. 2, 3, 6 posunou robota vpřed a nohy č. 1, 4, 5 se připraví
6. Položení noh č. 1, 4, 5 a následné opakování kroku č. 1



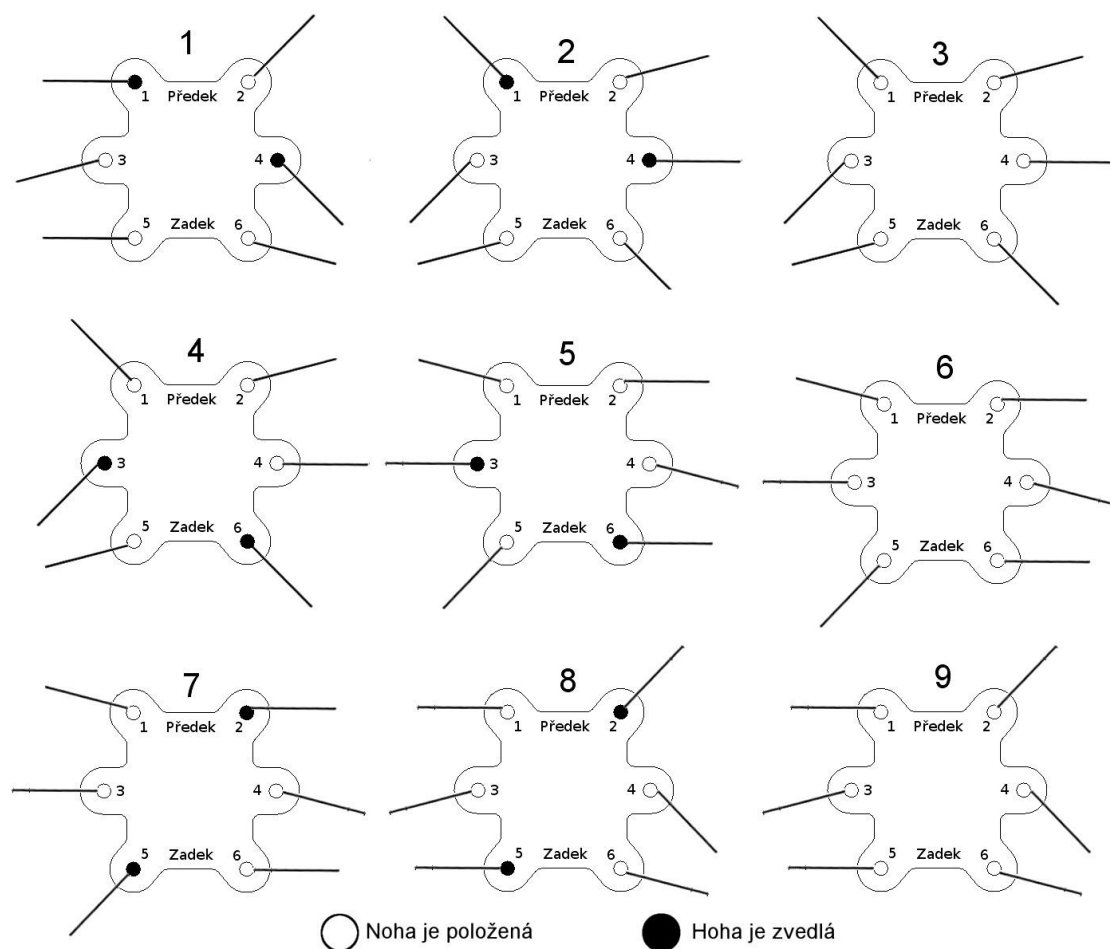
Obr. 1: Princip chůze – 3 nohy v záběru

1.1.2 Čtyři nohy v záběru

Robot se nyní pohybuje po čtyřech končetinách a díky tomu dojde ke zlepšení jeho stability a nosnosti. Ovšem každá noha má o jeden stupeň natočení více, celkem tři možné polohy natočení, tudíž řízení robota bude komplikovanější. Další nevýhodou je snížení rychlosti pohybu robota a to zhruba 1,5krát oproti pohybu na třech nohách. [1]

Algoritmus pohybu je patrný na obrázku č. 2:

1. Zvednutí noh č. 1, 4
2. Natočení položených noh do následující pozice, tím dojde k posunutí robota
3. Položení noh č. 1, 4
4. Zvednutí noh č. 3, 6
5. Stejně jako 2. krok
6. Položení noh č. 3, 6
7. Zvednutí noh č. 2, 5
8. Stejně jako 2. a 5. krok
9. Položení noh č. 2, 5 a následuje opět krok č. 1



Obr. 2: Princip chůze – 4 nohy v záběru

Je možné využít i více noh (pět a šest) v záběru, ale tyto způsoby chůze nebudou v této práci použity. Došlo by k dalšímu zlepšení stability a nosnosti robota, a to na jeho maximum, ale rychlost pohybu by se opět snížila. Dále by bylo daleko složitější řízení pohybu, v případě pěti noh v záběru by měla každá noha šest poloh natočení.

1.2 Pohony robota

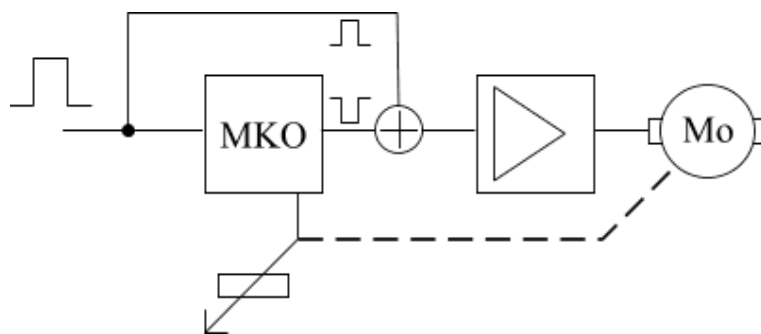
Další nedílnou součástí robota jsou pohonné jednotky, a právě o tomhle pojednává tato kapitola.

Pohybových aparátů je spousta, například: hydraulické, pneumatické systémy nebo motory s převody. Použití hydraulického nebo pneumatického systému by vyžadovalo řešit rozvody tlakové tekutiny, což by v případě takhle malého robota bylo poměrně složitě realizovatelné. Značnou výhodou by ovšem byla stabilita a větší zatížitelnost celého systému. Dále je důležité sledovat požadovanou polohu natočení všech částí, a proto nelze použít pouze samostatný pohon. Tyto problémy řeší použití modelářského servomotoru, který je z hlediska velikosti a řízení ideální řešení.

1.2.1 Modelářský servomotor

Modelářský servomotor, dále jen servo, umožňuje natočení hřídele do požadované polohy a tuhle polohu dále držet, pokud nedojde pokyn ke změně. Servo obsahuje elektromotor s převodovkou a řídicí elektroniku.

Na obrázku č. 3 je blokové schéma řídicí elektroniky, která ovládá elektromotor. Princip je takový, že na vstup přichází obdélníkový pulz o patřičné délce, který spustí monostabilní klopný obvod (MKO), ten vygeneruje impuls odpovídající aktuální poloze serva. Tento impuls je opačné polarity než vstupní. Oba tyto pulzy jsou porovnány v rozdílovém členu. Výstup z rozdílového členu je zesílen zesilovačem a přiveden na elektromotor. Pokud jsou oba impulzy stejné, signál přicházející na elektromotor bude nulový a nedojde k jeho roztočení. V případě nenulového rozdílového signálu se motor začne otáčet jedním nebo druhým směrem (podle toho zda je rozdíl kladný nebo záporný). Současně dochází k otáčení potenciometru, který dělá zpětnou vazbu pro MKO. Elektromotor se otáčí, dokud nebudou oba impulzy stejné. [2]

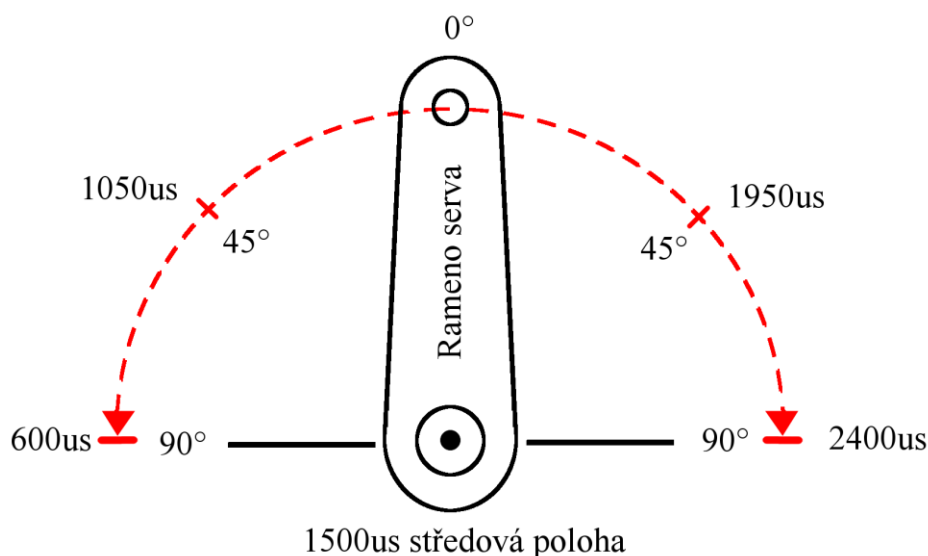


Obr. 3: Blokové schéma řídicí elektroniky servomotoru [2]

Používají se převážně serva, které pracují s kladnými řídicími impulzy. Délka impulsu může být mezi 1 – 2 ms a opakovací frekvence by měla být 50Hz. Střední poloha by měla odpovídat délce impulsu 1,5 ms. Na obrázku č. 4 je znázorněna závislost natočení hřídele na délce řídicího pulzu. [2]

Dále se serva dělí na dvě hlavní skupiny, a z hlediska řídicí elektroniky, na analogové a digitální. Digitální serva obsahují mikrokontrolér a je možné u nich

nastavovat různé parametry. Například rychlost, reset serva, směr otáčení, poloha bez signálu, atd. [3]



Obr. 4: Závislost natočení servomotoru na šířce řídicího impulsu

1.2.2 Servomotor EMAX ES08MD

Servomotor EMAX ES08MD, je digitální servomotor s kovovými převody. Servomotor patří do kategorie mikroserv. Parametry tohoto serva jsou uvedeny v tabulce č. 1. Výhodou tohoto serva je jeho velikost, váha a cena. Servo váží pouhých 12 g a disponuje tahem 2 kg/cm při napájecím napětí 6 V.

Tab. 1: Parametry servomotoru EMAX ES08MD [4]

Velikost	32 x 11,5 x 24 mm
Váha	12 g
Napájecí napětí	4.8V - 6.0V
Šířka řídicího impulsu	1500 – 1900 μ s
Statický tah	1,6 kg/cm při 4,8V, 2 kg/cm při 6V
Provozní rychlost	0,12 s/60° při 4,8V, 0,10 s/60° při 6V
Typ konektoru	FUT, JR

1.3 Snímače polohy a detekce překážek

Většinou je nutné získávat informace o prostředí, ve kterém se robot pohybuje, například: teplota, tlak, výskyt, záření, atd. V tomhle případě se bude jednat o detekci překážek v neznámém prostředí. Existuje mnoho způsobů realizace a senzorů, každý má samozřejmě své výhody i nevýhody. Některými metodami je možné nejen překážku detekovat, ale i změřit, jak daleko se nachází.

Kromě detekce překážek je dobré měřit i náklon, otáčení nebo zrychlení. K těmto účelům slouží zařízení, jako jsou akcelerometr a gyroskop. Tyto informace mohou sloužit robotovi jako zpětná vazba při pohybu v neznámém prostředí. Například při zjištění velkého náklonu může robot koordinovat své pohyby tak, aby se vyvaroval převrácení. Při chůzi po nerovném povrchu jsou tyto snímače nutnou součástí. Dále je možné snímat zrychlení v určitém směru a pomocí této informace

řešit různé další problémy. Všechny tyto data je možné posílat například do počítače a pomocí nich i vykreslit trajektorii pohybu robota.

1.3.1 Mechanické dorazové spínače

Tyto snímače musí mít fyzický kontakt s překážkou (objektem). Výhodou je jednoduchá realizace a řízení. Nevýhodou může být menší přesnost a nutnost fyzického kontaktu s objektem dříve, než je detekován a není možné měřit vzdálenost objektu. Tyto snímače se užívají převážně jako koncové snímače v průmyslu. V případě navrhovaného robota by bylo možné umístit mikropsínače na konce noh a při kontaktu nohy se zemí by došlo k identifikaci došlapu nohy.



Obr. 5: Koncový spínač používaný v průmyslu [5]



Obr. 6: Mikropsínač [5]

1.3.2 Indukční a kapacitní senzory

Indukční a kapacitní snímače umožňují bezkontaktně detekovat přiblížení předmětů na vzdálenost až několika, a dokonce i desítek milimetrů. Indukční snímače jsou omezeny pouze na detekci elektricky vodivých materiálů na rozdíl od kapacitních snímačů, které reagují i na nevodivé materiály. Tyto snímače jsou složitěji realizovatelné, neboť musí obsahovat oscilátor, vyhodnocovací obvod a koncový stupeň. Opět nachází významné použití v průmyslových aplikacích jako detekce dorazu, natočení, vyosení atd. [6] [7]

V návrhu robota nebudou použity, protože je nutné znát vlastnosti detekovaného objektu. Každý objekt z různého materiálu má tzv. redukční činitel a senzor na něj reaguje v různé vzdálenosti, nehledě na to, že indukční snímač je omezen pouze na elektricky vodivé materiály.



Obr. 7: Příklad indukčních a kapacitních snímačů používaných v průmyslu

1.3.3 Infračervené senzory a modul Pololu IR Proximity Sensor

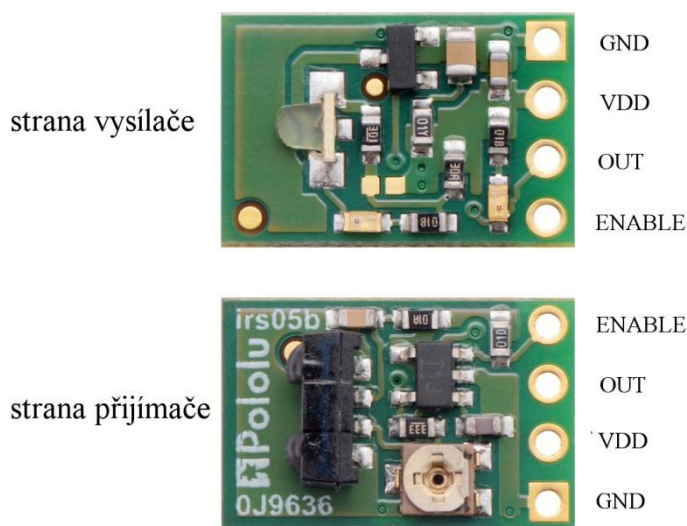
Další možností detekce překážky je využití odrazu infračerveného záření od objektu. Senzor vysílá infračervené záření (např. s vlnovou délkou 940 nm) do okolního prostředí a v případě, že se záření odrazí od předmětu a je detekováno snímačem, je překážka odhalena. Tento senzor umožňuje měřit i orientační vzdálenost překážky. Orientační hlavně proto, že každý předmět má jinou odrazivost záření.

Modul Pololu IR Proximity Sensor

Tento modul obsahuje na jedné desce přijímač i vysílač. Senzor je snadno ovladatelný, stačí pouze přivést napájecí napětí a vstupem „enable“ lze snímač spustit anebo vypnout. Pokud dojde k detekci překážky, informace bude odeslána na pin „out“. Výstupní signál má pouze dva stavy (vysoká a nízká úroveň), z čehož je patrné, že snímač umí pouze podávat informaci o tom, zda se překážka vyskytuje v nastavené vzdálenosti. Nevýhodou je, že senzor může být spuštěn cizím IR zářením z nějakého jiného okolního zdroje, což vede k tomu, že senzor podá informaci o překážce, která se ve skutečnosti před ním nenachází. Parametry snímače jsou uvedeny v tabulce č. 2 a provedení senzoru na obrázku č. 8.

Tab. 2: Parametry modulu Pololu IR Proximity Sensor [8]

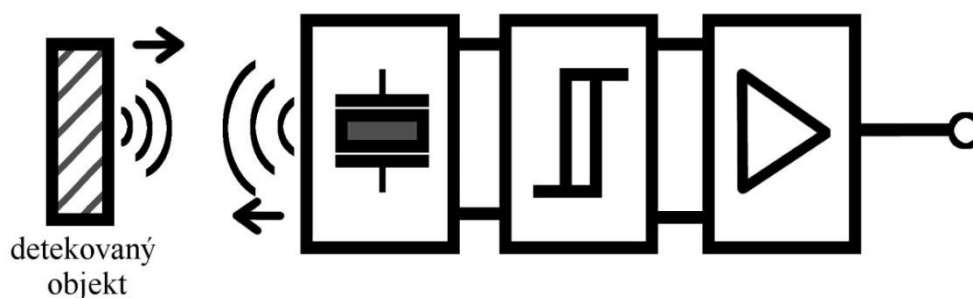
Velikost	10,16 x 15,24 x 5,08 mm
Hmotnost	0,6 g
Maximální měřená vzdálenost	30 cm (61 cm)
Vzorkovací frekvence	1 kHz
Průměrný vstupní proud	8 mA (16 mA) při napájecím napětí 5 V DC



Obr. 8: Pololu 38 kHz IR Proximity Sensor [8]

1.3.4 Ultrazvukové senzory a modul HC-SR04

Ultrazvukové senzory jsou založeny na podobném principu jako infračervené, ale nevysílají elektromagnetické záření, nýbrž ultrazvukovou vlnu, která se odráží od detekovaného objektu. Tyto senzory umožňují změřit i vzdálenost objektu na základě prodlevy mezi vysláním vlny a přijetím odražené vlny a za předpokladu, že známe rychlost šíření zvukové vlny v daném prostředí. Základem snímače je zvukový měnič, běžně se používá piezokeramický měnič. Měnič je realizován pomocí piezoelektrického materiálu, jehož vlastností je, že po přiložení elektrického napětí mění své geometrické rozměry. To znamená, že mění elektrickou energii na mechanickou. Řazení jednotlivých bloků uvnitř senzoru je na obrázku č. 9. [9]



Obr. 9: Blokové schéma ultrazvukového senzoru [9]

Modul HC-SR04

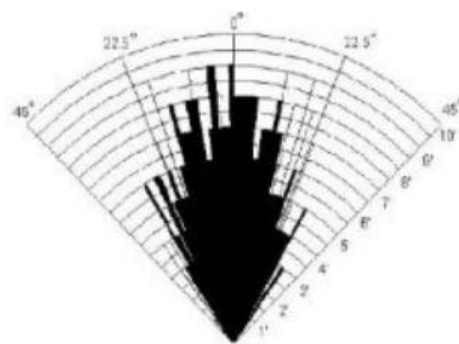
Výhodou tohoto modulu je jeho nízká cena a jednoduché ovládání. Modul umožňuje měřit vzdálenost překážky od 2 cm až do 400 cm. Přesnost měření je 0,3 cm, což je pro tento návrh vyhovující. Parametry snímače jsou uvedeny v tabulce č. 3 a realizace snímače je uvedena na obrázku č. 10. Vyzařovací charakteristika modulu je patrná na obrázku č. 11. [10]

Tab. 3: Parametry ultrazvukového senzoru HC-SR04 [10]

Napájecí napětí	5V DC
Klidový odběr	< 2 mA
Pracovní odběr	15 mA
Měřicí rozsah	2 cm – 400 cm
Přesnost	0,3 cm
Měřicí úhel	30°
Frekvence zvukové vlny	40 kHz
Rozměry	45 x 20 x 15 mm



Obr. 10: Ultrazvukový senzor HC-SR04 [10]



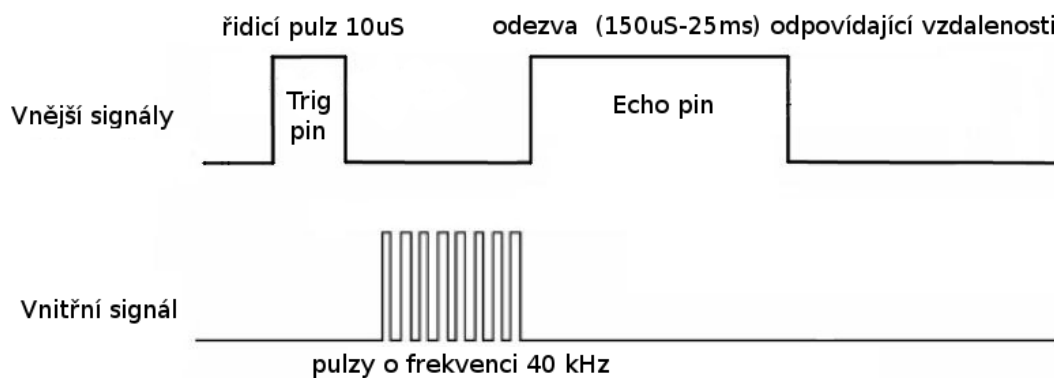
Obr. 11: Vyzařovací charakteristika HC-SR04 [10]

Ovládání modulu HC-SR04

Modul má celkem čtyři piny, a to napájení „Ucc“, vstup „Trig“, výstup „Echo“ a zem „GND“. Pro zahájení měření je nutné přivést na vstupní pin „Trig“ impuls o šířce 10 μ s. Modul vyšle ultrazvukovou vlnu o frekvenci 40 kHz. Po přijetí odražené vlny je na výstupu vygenerován pulz o šířce úměrné vzdálenosti, přesněji době letu vyslané vlny. [10] Výslednou vzdálenost je možné spočítat pomocí vztahu:

$$L = \frac{\text{šířka pulzu}}{58} \quad [\text{cm}, \mu\text{s}]$$

Průběhy signálů jsou znázorněny v časovém diagramu na obrázku č. 12.



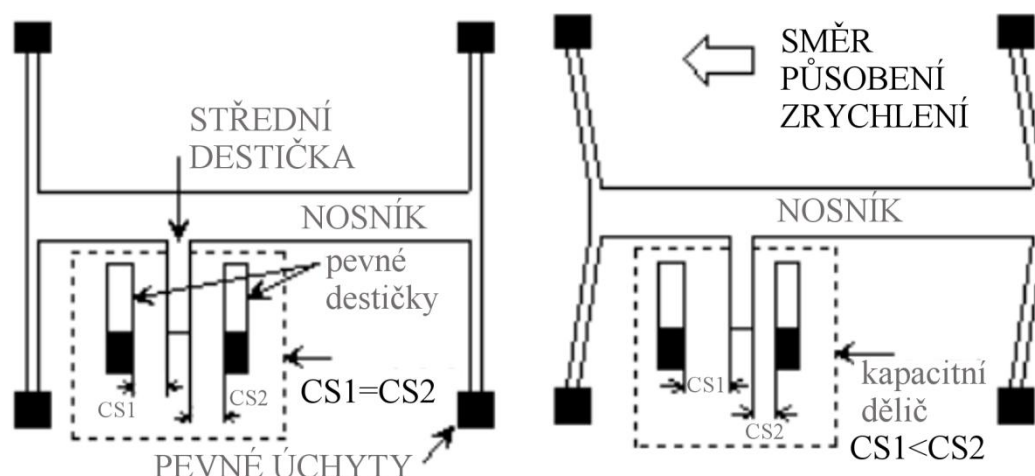
Obr. 12: Časový diagram průběhů signálů modulu HC-SR04

1.3.5 Akcelerometr

Akcelerometr je zařízení, pomocí něhož je možné měřit zrychlení sil. Tyto síly mohou být statické (tíhová síla) nebo dynamické, které jsou způsobeny pohybem akcelerometru. Z těchto dat je poté možné zjistit:

- zrychlení,
- náklon,
- sklon,
- rotaci,
- vibrace. [11]

Je mnoho způsobů jak akcelerometr realizovat. Například je možné využít piezoelektrickou strukturu, která při zrychlení začne generovat elektrické napětí. Dalším způsobem je snímání kapacity. Princip kapacitního akcelerometru je uveden na obrázku č. 13. Základem jsou dvě pevné elektrody a jedna volná. Tyto elektrody tvoří kapacitní dělič a v klidovém stavu jsou obě kapacity stejné. V případě působení zrychlení dochází k pohybu nosníku a volná elektroda se přibližuje k jedné z pevných. Dochází ke změně kapacit v děliči a obě kapacity nejsou nyní stejné. Tuto změnu vyhodnotí elektronika v senzoru a pošle k dalšímu zpracování. [12]

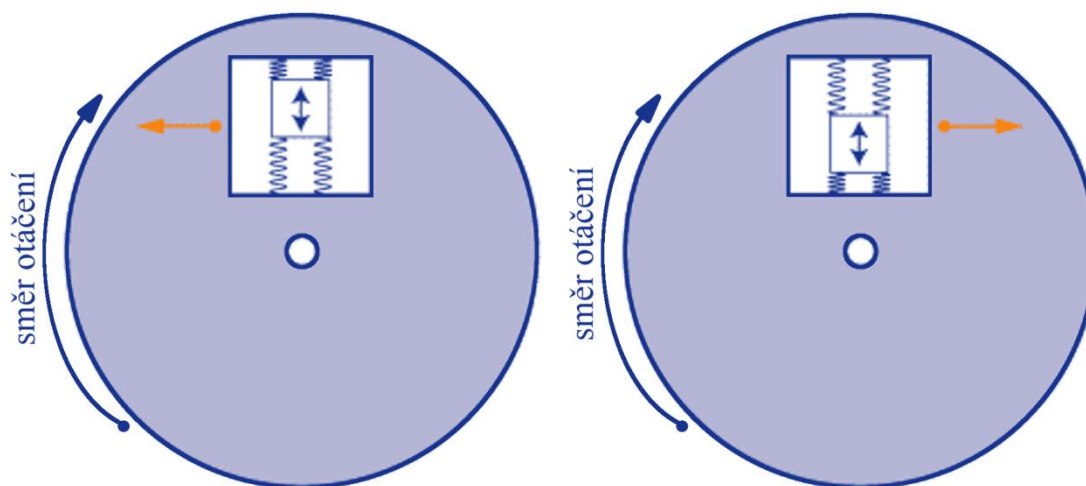


Obr. 13: Princip kapacitního akcelerometru [12]

1.3.6 Gyroskop

Zařízení, pomocí něhož je možné určit změnu polohy nebo natočení, podobně jako u akcelerometru, ale princip funkce zařízení je odlišný. Gyroskopy měří úhlovou rychlost, kterou je typicky možné měřit ve všech třech osách. Gyroskopy vyráběné jako integrované MEMS obvody pracují na principu Coriolisovy síly.

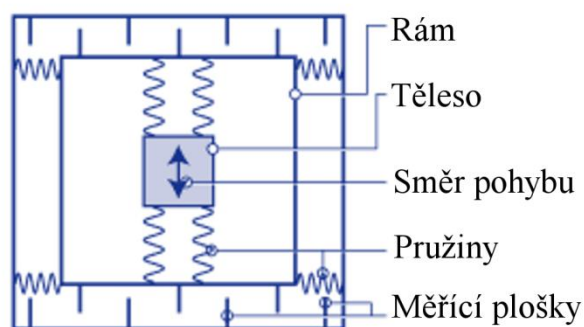
Coriolisova síla je virtuální síla, která působí na pohybující se těleso v soustavě rotující kolem osy. Princip je znázorněn na obrázku č. 14. Zde při pohybu objektu, upevněného na pružinách uvnitř rámu, směrem ven (k okraji rotujícího kotouče) na něj působí Coriolisova síla směrem doleva, při opačném směru pohybu objektu pak doprava. Protože velikost a směr této síly je úměrný i rychlosti a směru otáčení, lze tento systém snadno využít pro měření velikosti úhlové rychlosti. [13]



Obr. 14: Působení Coriolisovy síly na mechanický gyroskop [13]

Princip integrovaných MEMS gyroskopů

Do rámu je pomocí pružin umístěno periodicky se pohybující těleso. Za předpokladu, že směr otáčení je kolmý ke směru pohybu, začne působit na těleso Coriolisova síla, která způsobí stlačení vnějších pružin rámu a dojde k vzájemnému posuvu měřících plošek, které fungují jako elektrody vzduchových kondenzátorů. Výstupem je tedy změna kapacity úměrná úhlové rychlosti otáčení $^{\circ}/s$. [13]



Obr. 15: Realizace gyroskopu v technologii MEMS [13]

1.3.7 Modul GY-521

Tento modul je osazen tříosým akcelerometrem a tříosým gyroskopem v čipu MPU-6050. Obvod komunikuje pomocí I²C sběrnice. Citlivost gyroskopu i akcelerometru je možné měnit pomocí příkazů. Obvod MPU-6050 obsahuje i vlastní procesor DMP (Digital Motion Processor), který provádí veškeré výpočty úhlů ze surových dat z gyroskopu a akcelerometru. Ale je možné číst přímo surová data z akcelerometru i gyroskopu. [14] [15]

Tab. 4: Parametry modulu GY-521 [14]

Napájecí napětí	3 až 5 V DC
Měřicí rozsah akcelerometru	$\pm 2, \pm 4, \pm 8, \pm 16$ g
Měřicí rozsah gyroskopu	250, 500, 1000, 2000 °/s
Rozměry	21 x 15 x 1,2 mm
Hmotnost	3 g



Obr. 16: Modul GY-521 [15]

1.4 Bezdrátová komunikace

Komunikace a ovládání robota by mělo být bezdrátové, aby se robot mohl pohybovat volně a nebyl nijak omezován například přívodními kabely. Bezdrátová komunikace bude probíhat mezi robotem a koncovým zařízením, které bude řídit pohyby robota. Dále budou posílány snímky z kamery a naměřená data ze senzorů. Možností bezdrátových technologií je spousta. Například: bluetooth, RF přijímače/vysílače, WiFi a další.

1.4.1 Bluetooth

Tato technologie je definována standardem IEEE 802.15.1 a spadá do kategorie osobních počítačových sítí, tzv. PAN (Personal Area Network). K přenosu využívá rádiové vlny s kmitočtem 2,4 GHz. Existuje několik tříd bluetooth, které se liší svou výkonností a maximálním dosahem signálu (od 1 m do 100 m). Rychlost přenosu je do 24 Mb/s. [16]

1.4.2 RF přijímače/vysílače

Tyto rádio frekvenční moduly pracují na frekvencích 433 MHz nebo 868 MHz a používají amplitudovou nebo frekvenční modulaci. Tyto moduly nezahrnují žádný komunikační protokol a je nutné ho řešit přídavnými obvody. Značnou nevýhodou je malá rychlost přenosu dat a tento typ přenosu není vhodný pro přenos videa nebo obrázků. Ovšem výhodou je daleko větší dosah.

1.4.3 WiFi

Tato technologie je podobná technologii bluetooth a spadá do standardu IEEE 802.11. Jedná se o bezdrátovou náhradu za drátový Ethernet. Pracuje na stejné frekvenci jako bluetooth 2,4 GHz, anebo 5 GHz. U WiFi sítí rozlišujeme dvě základní topologie. Prvním je hvězdicová topologie, kde je potřeba přístupový bod (AP), ke kterému se připojují ostatní zařízení. Druhý typ spojení se nazývá Ad-Hoc, nepotřebuje žádný přístupový bod, koncová zařízení se spojují přímo mezi sebou. [17]

V tomto návrhu bude použita právě technologie WiFi, neboť existuje velké množství levných modulů, které splňují veškeré požadavky. Prvním požadavkem je, že modul musí mít možnost vytvoření přístupového bodu. Dále možnost vytvoření webového serveru s webovým rozhraním, které bude možné po připojení se na síť zobrazit.

1.4.4 WiFi modul ESP8266

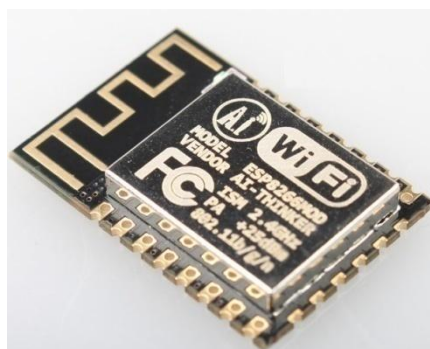
ESP8266 je velmi levný modul, který je díky své rozšiřitelnosti jednoduše programovatelný a lze do něj nahrát i vlastní firmware. Dokonce je možné do modulu nahrát firmware, pomocí něhož ho lze programovat jako Arduino. Toho je využito právě v tomto návrhu, neboť pomocí platformy Arduino lze k modulu snadno připojit kameru Arducam. [18]

Tento modul vytváří WiFi „hotspot“, na který je možné se pomocí zařízení s WiFi připojit. WiFi modul obsahuje firmware, který zajišťuje webový server. Takže po připojení na tento „hotspot“ je možné zobrazit ve webovém prohlížeči stránku, pomocí které je možné robota ovládat, zobrazovat snímky z kamery, atd.

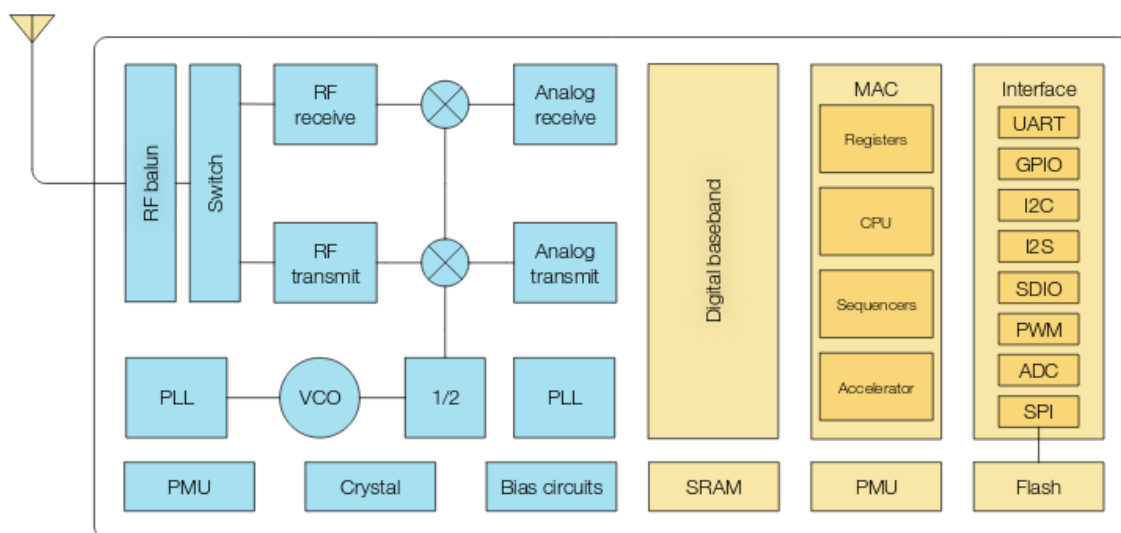
Obvod ESP8266 obsahuje 2,4 GHz přijímač a vysílač. Dále je vybaven mikrokontrolérem Tensilica L106. Jedná se o 32 bit mikrokontrolér a je taktován na frekvenci 80 MHz. Blokové schéma obvodu je znázorněno na obrázku č. 18. [19]

Tab. 5: Parametry obvodu ESP8266 [19]

Napájecí napětí	3.0V - 3.6V
Odběr proudu	80 mA
WiFi frekvenční rozsah	2.4 - 2.5GHz
WiFi módy	Station/SoftAP/SoftAP+ Station
Zabezpečení	WPA/WPA2
Ostatní periférie	UART/SDIO/SPI/I ² C/I2S
	GPIO/ADC/PWM/LED
Velikost	16 x 24 x 3 mm



Obr. 17: Modul ESP8266 [19]



Obr. 18: Blokové schéma obvodu ESP8266 [19]

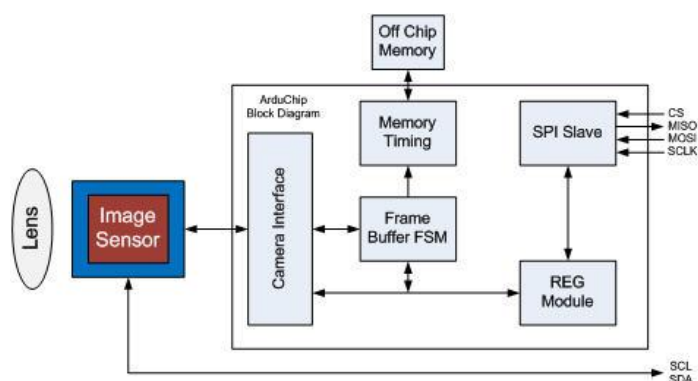
1.5 Kamera Arducam Mini s OV2640 senzorem

Sledovat okolí před robotem je možné pomocí kamery. Kamera Arducam Mini s CMOS senzorem OV2640 je vhodným řešením pro tuhle aplikaci. Kamera umožňuje zachytávat snímky s rozlišením až 2 MP. Výhodou tohoto kamerového modulu je snadné ovládání a přenos zachycených obrázků. Při menším rozlišení je možné dosáhnout i videa s 10 – 15 FPS. Více parametrů tohoto modulu je uvedeno v tabulce č. 6. [20]

Tab. 6: Parametry modulu Arducam Mini s OV2640 senzorem [20]

Zachycovací senzor	OV2640
Maximální rozlišení	1600×1200
Závěrka	štěrbínová
Rychlost SPI	8 MHz
Velikost frame bufferu	384 KB
Rozměry modulu	34 x 24 mm
Hmotnost	20 g
Napájení	5V / 70 mA

Senzor OV2640 se ovládá přes sběrnici I²C a je možné nastavit různé rozlišení obrazu, formát výstupních dat a mnoho dalších parametrů senzoru. Data ze senzoru jsou zpracovány v obvodu „ArduChip“ a jsou přenášena pomocí sběrnice SPI. Takže je zřejmé, že pro připojení modulu jsou potřeba obě tyto sběrnice. Na obrázku č. 19 je blokové schéma celého kamerového modulu. Modul je uveden na obrázku č. 20.



Obr. 19: Blokové schéma kamery Arducam Mini s OV2640 [20]



Obr. 20: Modul ArduCam Mini s OV26040 [20]

1.6 Vybrané mikrokontrolery

Tato kapitola pojednává o vybraných mikrokontrolerech pro návrh hlavní řídicí jednotky a napájecí jednotky, která bude generovat impulzy pro servomotory.

1.6.1 Mikrokontrolér ATmega328P

Jedná se o 8 bitový mikrokontrolér s architekturou AVR, který obsahuje dva 8 bitové čítače a jeden 16 bitový. Maximální taktovací frekvence je 20 MHz. Obvod má celkem 23 vstupních/výstupních linek. Napájecí napětí může být v rozsahu 1,8 - 5,5 V. Více parametrů je uvedeno v tabulce č. 7. [21]

Tab. 7: Parametry mikrokontroléru ATmega328P [21]

Napájecí napětí	1,8 – 5,5 V
Maximální taktovací frekvence	20 MHz
Paměť programu Flash	32 kB
EEPROM paměť	1 kB
SRAM paměť	2 kB
Některé ostatní periférie	2x 8 bit čítač, 1x 16 bit čítač, 6x PWM
	8 kanálový 10 bit AD převodník
	1x UART, 1x I ² C

1.6.2 Mikrokontrolér STM32F303CCT6

Mikrokontrolér STM32F303CCT6 s architekturou ARM Cortex-M4 je 32 bitový mikrokontrolér s řadou periférií. Hlavními požadavky byly minimálně dva sériové porty UART, I²C sběrnice a port USB. Například mikrokontrolér typu

AVR od firmy Atmel byl s těmito požadavky, převážně kvůli portu USB, značně dražší a méně dostupný. A proto byl vybrán právě tento mikrokontrolér, který se může zdát na první pohled zbytečně „výkonný“ pro tuhle aplikaci. Hlavní parametry jsou uvedeny v tabulce č. 8. [22]

Tab. 8: Parametry mikrokontroléru STM32F303CCT6 [22]

Architektura	ARM Cortex-M4
Maximální taktovací frekvence	72 MHz
Napájecí napětí	2 – 3,6 V
Paměť Flash	256kB
Paměť SRAM	40kB
Počet V/V linek	20
Další periférie	CAN, 2x I ² C, 3x SPI, 3x USART, USB
	5x 16 bit časovač, 1x 32 bit časovač
	2x DAC převodník
	4x 12 bit ADC převodník
	7x komparátor a 4x operační zesilovač

1.7 Možnosti výroby mechanické konstrukce

Tato kapitola pojednává o výběru možných materiálů pro realizaci mechanické konstrukce robota. Dále možnost realizace dílů robota pomocí populárního 3D tisku a porovnání plastů používaných pro tisk.

1.7.1 Volba materiálů

Volba materiálu pro výrobu konstrukce značně ovlivňuje návrh a technologický postup výroby. Každý materiál může mít různý způsob zpracování, který ovlivňuje postup při návrhu dílů. Například jestli výsledného tvaru bude dosaženo frézováním, řezáním (např.: laserem, plasmou, apod.), broušením, atd.

Kovové materiály

Kovových materiálů existuje nespočetné množství druhů. Základní vlastností je tvárnost, která je odlišuje od ostatních druhů materiálů. Tento návrh bude omezen pouze na slitiny hliníku a oceli, neboť jsou velmi dobře dostupné a relativně jednoduše se obrábějí.

Dural (tvrdý hliník) je slitina hliníku a mědi. Jeho hustota je 2800 kg/m³. Dosahuje ve vytvrzeném stavu velmi dobrých mechanických vlastností, ovšem nevýhodou je špatná odolnost proti korozi.

Nerezová ocel je vysoce legovaná ocel a hlavním legujícím prvkem je chrom. Její hustota je 8 000 kg/m³. Je patrné, že nerezová ocel je daleko těžší než dural, ale zato pevnější a odolnější. Tento materiál není vhodný pro výrobu mechanických částí robota, a to právě z důvodu jeho velké hmotnosti. [23]

Plastové materiály

Plastové materiály jsou makromolekulární látky organického nebo syntetického původu s relativní molekulovou hmotností desítek až stovek tisíc. Plasty jsou mechanicky, chemicky i korozně velmi odolné. Mají malou hustotu okolo 1200 kg/m^3 , záleží na konkrétním druhu plastu. Ale například kus vyrobený z duralu bude zhruba třikrát těžší než z plastu. Ovšem některé druhy plastu mohou být špatně obrobitelné, protože mají špatnou tepelnou vodivost a obráběné plochy se rychle zahřívají, což u termoplastů vede k tavení. Plastové tabule je možné řezat laserem nebo vodním paprskem. Plasty mohou být také tisknuty na 3D tiskárně, tento proces je nenáročný, ale díly se tisknou dlouhou dobu. [24]

1.7.2 Výroba dílů na 3D tiskárně

Tato technologie se stává čím dál více dostupnou. Díl vzniká pokládáním souvislých vrstev materiálu, jedná se o tzv. aditivní výrobu, naopak při obrábění dochází k postupnému odstraňování materiálu. K výrobě je potřeba pouze digitální předloha, podle které se vytváří fyzický model. [25]

Robot sestavený z plastových dílů má zhruba třikrát menší hmotnost než z kovových dílů (dural a nerez), což má za následek menší namáhání pohonů robota a tím pádem i menší proudový odběr pohonů. Dále bylo možné realizovat složitější tvary a různé držáky, které by se obráběním daly dělat jen stěží.

1.7.3 Materiály pro 3D tisk:

- **ABS** (acrylonitrile butadiene styrene) jedná se o nejpoužívanější materiál pro 3D tisk. Jedná se o plast s dobrou tepelnou odolností a vysokou pevností. Je odolný do teplot až 100°C bez velkých ztrát na pevnosti. Nevýhodou je jeho tepelná roztažnost, která představuje velký problém při tisku větších předmětů.
- **PLA** (polylactic acid) je vyrobený z kukuřičného škrobu. Oproti ABS má menší teplotní roztažnost a při jeho tisku není potřeba vyhřívaná podložka. Je to jediný plast, který se dá použít pro tisk větších předmětů. Nevýhodou je větší křehkost v porovnání s ABS a také menší teplotní odolnost. Nicméně tento plast byl použit při tisku mechanických dílů robota.
- **PET** (polyethylene terephthalate) tento plast si bere všechny dobré vlastnosti z PLA a ABS. Má velkou pevnost, stálost a nízkou tepelnou roztažnost. Opět není nutná vyhřívaná podložka. Nevýhodou může být dostupnost pouze v čiré variantě a cena.
- **Ostatní materiály** většinou experimentální. Například: PLA s příměsí dřeva, Nylon nebo dokonce vodivé materiály. Ovšem tyto materiály nejsou pro tuhle konkrétní aplikaci potřeba. [25]

2 PRAKTICKÁ ČÁST

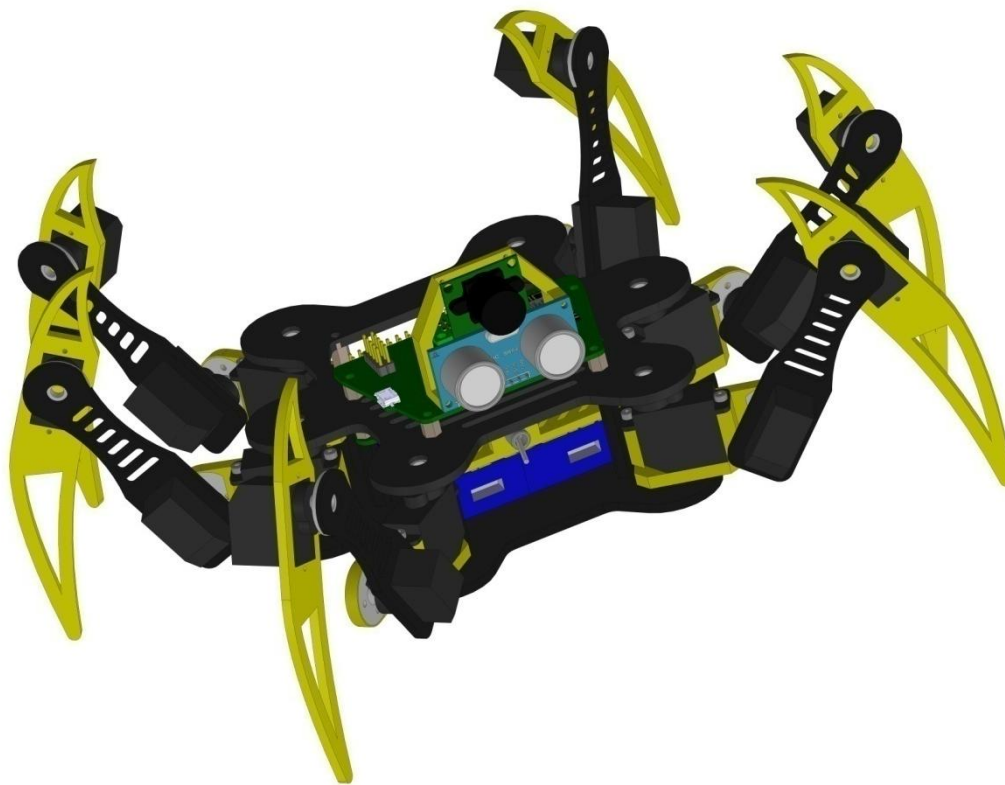
2.1 Návrh mechanické konstrukce robota

Výsledný návrh konstrukce robota byl vymodelován v programu Solidworks a je uveden na obrázku č. 21. Návrh zahrnuje i použité pohony, snímače a také rozměry a výsledný tvar desek plošných spojů (deska zdroje a hlavní řídicí deska). Díly byly navrženy tak, aby je bylo možné vytisknout na 3D tiskárně.

Robot se skládá z šesti noh a těla. Každá noha má tři stupně volnosti, to znamená, že je potřeba celkem tři servomotorů na jednu nohu. Výsledný návrh tedy obsahuje osmnáct servomotorů, které je nutné řídit. Díky technologii 3D tisku bylo možné realizovat některé složitější tvary. Například držák baterií nebo distanční sloupky, které jsou vytisknuté spolu se spodní částí těla.

Plastová konstrukce má oproti prvnímu prototypu vyrobeného z kovových materiálů značnou výhodu v hmotnosti. Plastové díly váží 176 g a kovové 519 g. Dále není nutné dělat do plastových dílů závit, ale stačí je sešroubovat pomocí samořezných šroubků, což značně zjednodušuje výslednou montáž.

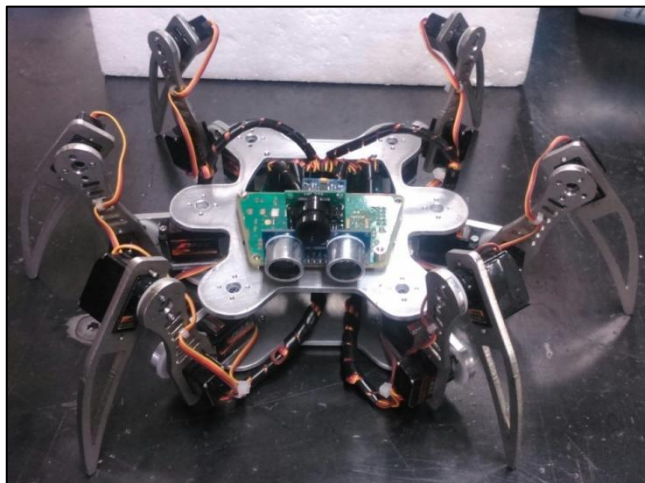
Každá noha je usazena do ložiska, které je nalisováno do spodního dílu těla. Servo otáčející nohu je přišroubováno hornímu dílu těla. Takto osazené servo má hlavní výhodu v tom, že je odolnější proti vyosení, na rozdíl od servomotorů, které drží díl pouze na své hřídeli.



Obr. 21: Návrh šestinohého robota v programu Solidworks

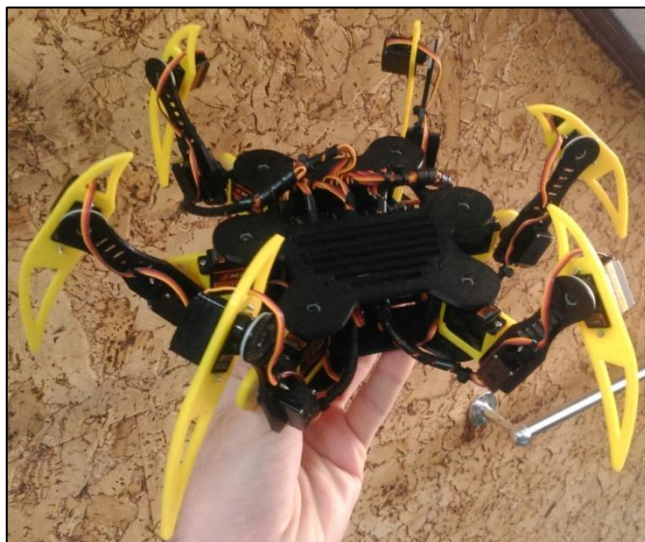
2.2 Výroba mechanické konstrukce

Konstrukce byla vyrobena ve dvou verzích. První prototyp byl vyroben z kovových materiálů. Části noh byly pomocí CNC laseru vyřezány z nerezového plechu. Zbylé díly, díly těla a otočný mechanismus noh, byly frézovány z duralu. Největším problémem při výrobě bylo vytvoření závitů do nerezové oceli. Samotná montáž byla snadná a díly do sebe zapadaly s co nejmenší vůlí. Konstrukce vyrobená z duralu a nerezové oceli je uvedena na obrázku č. 22. Takto vyrobená konstrukce byla mechanicky velice odolná a stabilní. Hlavní nevýhodou byla ovšem její velká hmotnost a servomotory byly zbytečně přetěžovány, což mělo za následek velký odběr proudu a přehřívání servomotorů.



Obr. 22: Robot sestavený z kovových materiálů

Problém s hmotností byl vyřešen výrobou konstrukčních dílů z plastových materiálů. Konstrukce byla vytisknutá na 3D tiskárně z plastu PLA je na obrázku č. 23. Takto vyrobená konstrukce měla zhruba 3krát menší hmotnost. Na rozdíl od kovové konstrukce se vyskytuje větší vůle mezi díly a konce noh se více prohýbají. Ovšem tyto výchyly jsou pro tento projekt zanedbatelné a zásadně neovlivňují činnost robota.



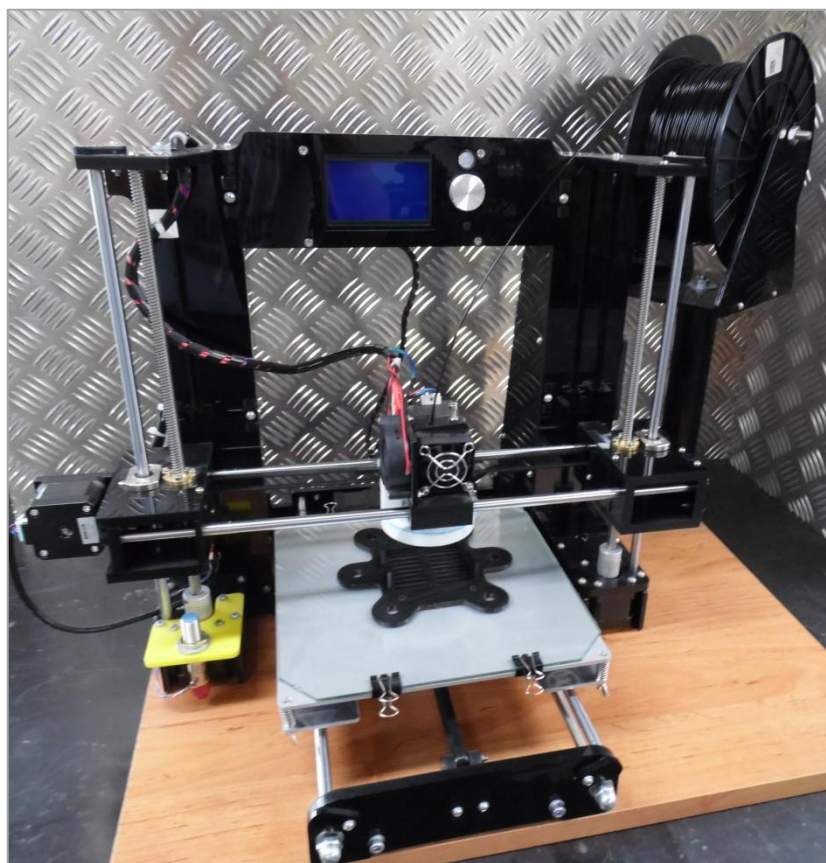
Obr. 23: Robot sestavený z plastových dílů

2.2.1 3D tiskárna a použité nastavení

Díly byly vytisknuty na 3D tiskárně Anet A6, jedná se o tiskárnu typu RepRap a je uvedena na obrázku č. 24. Její základní tiskové parametry jsou uvedeny v tabulce č. 9. Jako generátor G-codu (slicer) byl použit program Craftware. Bylo tisknuto plastem PLA, výška vrstvy byla 0,2 mm a výplň dílu byla nastavena na 40 %. Plast PLA byl zvolen hlavně kvůli možnosti tisku větších dílů, bez nutnosti řešit kroucení při jeho chladnutí, a také díly vytisknuté z tohoto plastu vypadaly vizuálně lépe. Problém může nastat v případě vystavení konstrukce vyšší teplotě, protože by mohlo způsobit její roztavení.

Tab. 9: Základní tiskové parametry 3D tiskárny Anet A6 [26]

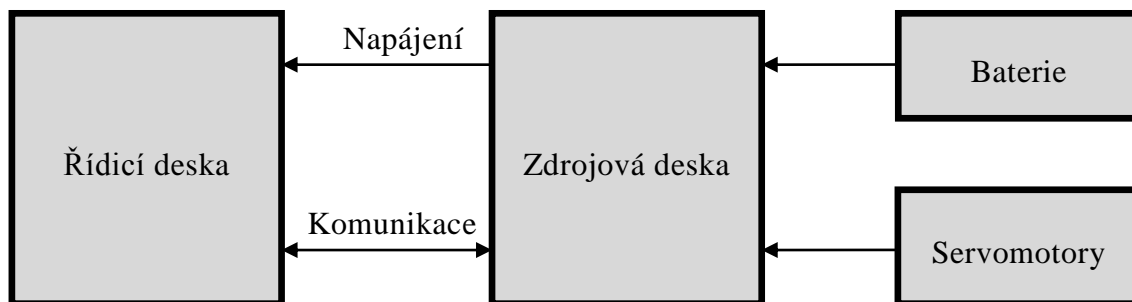
Velikost tiskové plochy	Rychlost tisku	Průměr trysky	Přesnost v osách X, Y	Přesnost v ose Z
220 x 220 x 250 mm	100 mm/s	0,4 mm	0,012 mm	0,004 mm



Obr. 24: Použitá 3D tiskárna Anet A6

2.3 Návrh elektroniky robota

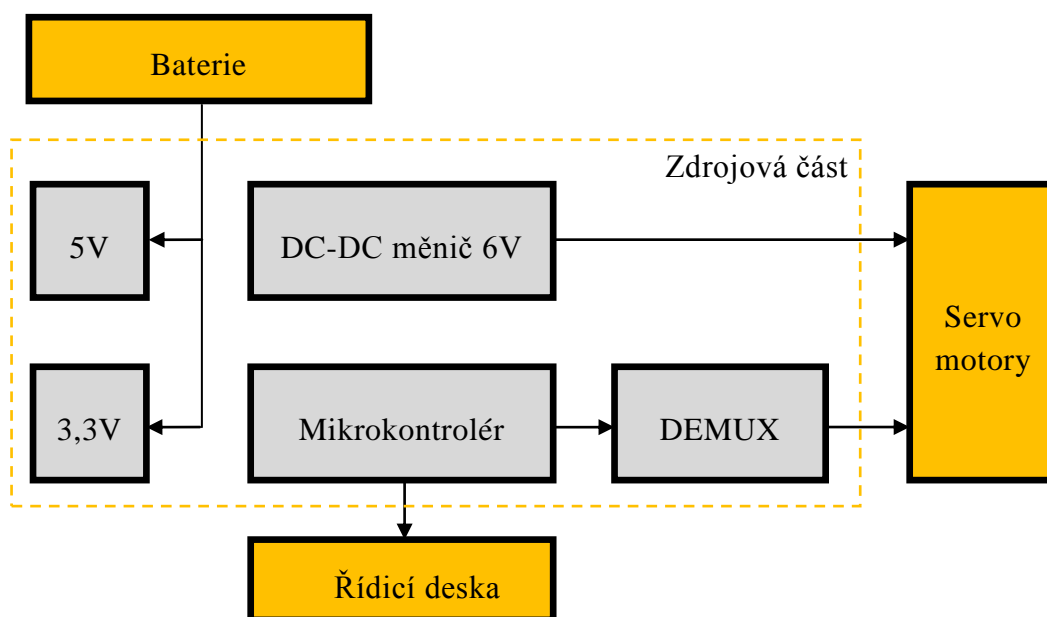
Tato kapitola se zabývá samotným návrhem elektroniky robota. Elektronika je rozdělena do dvou základních celků na zdrojovou a řídicí část. Tyto dvě části jsou i fyzicky vyrobeny na dvě desky plošných spojů a navzájem spolu komunikují pomocí sériového portu UART. Pro lepší pochopení je zapojení těchto částí znázorněno na obrázku č. 25.



Obr. 25: Blokové schéma návrhu elektroniky robota

2.4 Zdrojová deska

Tato deska má dva hlavní úkoly. Jedním z nich je zajištění napájecích napětí pro řídicí obvody a pro servomotory. K tomuto účelu jsou použity dva lineární stabilizátory napětí a jeden DC-DC měnič, který zajišťuje napájení servomotorů. Druhým úkolem této desky je generování řídicích signálů pro servomotory. Natočení, rychlost příslušného servomotoru jsou posílány z řídicí jednotky přes sériový port UART. Dále může tato deska odesílat informace o napětí baterie nebo vypnout napájení servomotorů. Blokové schéma zapojení je znázorněno na obrázku č. 26. Kompletní schéma zdrojové desky spolu s podklady pro výrobu DPS jsou uvedeny v příloze. Deska plošných spojů byla vyráběna v domácích prostorách.



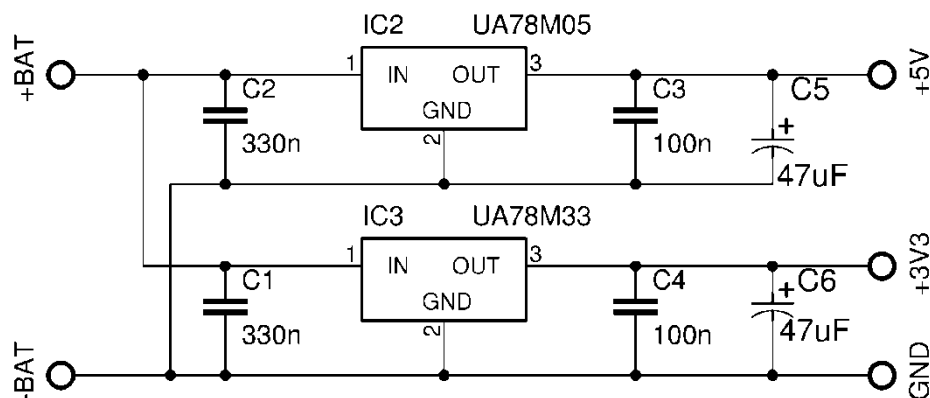
Obr. 26: Blokové schéma zdrojové desky

Parametry zdrojové desky

- napájecí napětí pro řídicí obvody 3,3 V a 5 V s požadovaným proudovým odběrem 500 mA,
- napájení servomotorů 6 V s proudovým odběrem 5 A,
- generování řídicích signálů pro servomotory s rozlišením délky impulzů 1 μ s,
- nastavení limitů jednotlivých servomotorů,
- nastavení rychlosti a offsetů jednotlivých servomotorů,
- ochrana proti podpětí baterie,
- možnost vypnutí napájení servomotorů.

2.4.1 Lineární stabilizátory napětí

Napájecí napětí pro řídicí elektroniku je vytvářeno pomocí dvou lineárních stabilizátorů. Jedním z nich je integrovaný obvod UA78M05, který zajišťuje stálé napětí 5 V na jeho výstupu. Integrovaný obvod UA78M33 se stará o napěťovou větev 3,3 V. Oba tyto obvody je možné zatížit odběrem proudu až 500 mA. Na obrázku č. 27 je znárodněno zapojení těchto stabilizátorů na zdrojové desce. Obvody jsou na desce plošných spojů osazeny v pouzdře TO-252-3. Parametry těchto obvodů jsou uvedeny v tabulce č. 10.



Obr. 27: Zapojení lineárních stabilizátorů napětí

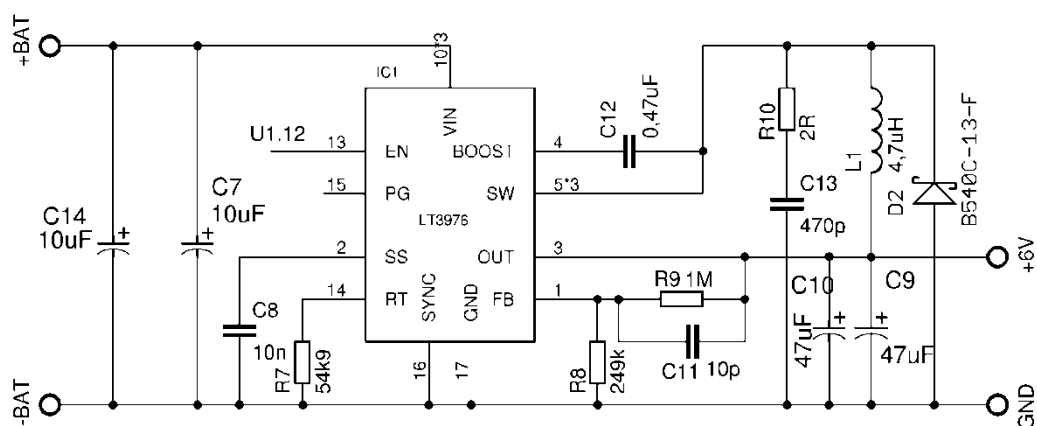
Tab. 10: Parametry lineárních stabilizátorů UA78MXX [27]

	UA78M33	UA78M05
Maximální vstupní napětí	35 V	35 V
Minimální vstupní napětí	5,3 V	7 V
Maximální výstupní proud	500 mA	500 mA

2.4.2 DC – DC měnič s obvodem LT3976

Servomotory vyžadují pro svoji funkčnost daleko výkonnější zdroj napětí, a proto zde již není výhodné používat lineární stabilizátory, neboť jejich účinnost je značně malá a ztrátový výkon by musel být odváděn do okolí pomocí chladiče. Daleko lepší účinnosti lze dosáhnout právě pomocí měniče napětí. V tomhle návrhu je použit snižující měnič napětí (step-down), který tvoří obvod LT3976. Zapojení je uvedeno na obrázku č. 28.

Měnič má nastaven spínací frekvenci 0,8 Mhz, kterou je možné pomocí rezistoru R₇ měnit a to v rozsahu od 0,2 MHz do 2 MHz. Obvod dokáže dodat maximální výstupní proud 5 A. Minimální rozdíl mezi vstupním a výstupním napětím by měl být přibližně 500 mV, v této aplikaci bude měnič připojen k baterii se jmenovitým napětím 7,4 V a výsledný rozdíl napětí tedy bude 1,4 V. [28]



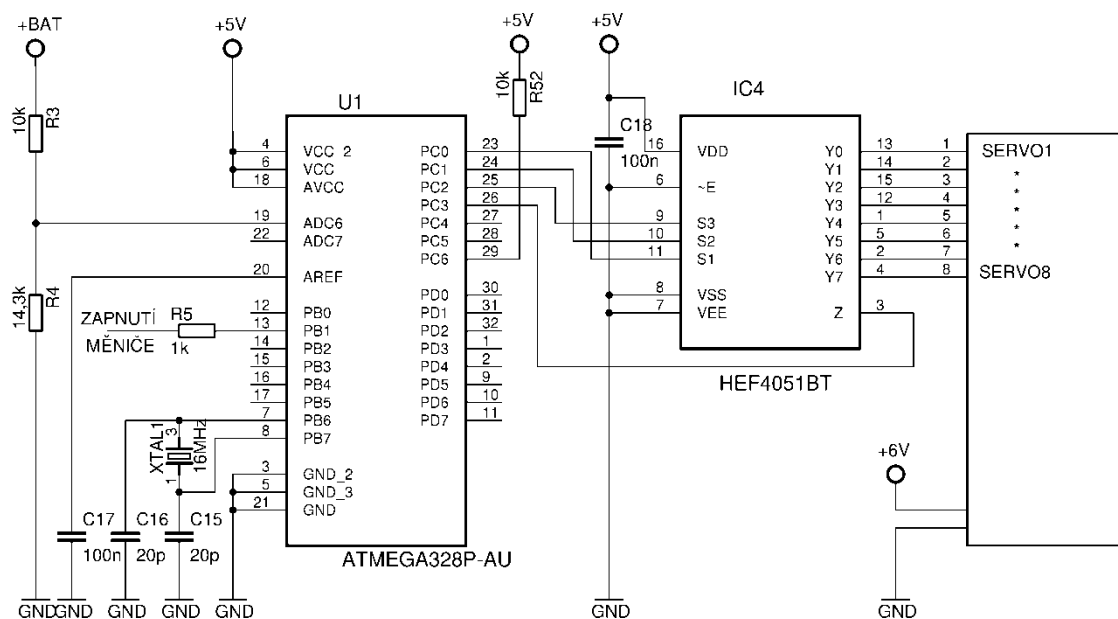
Obr. 28: Zapojení DC – DC měniče s obvodem LT3976

2.4.3 Mikrokontrolér ATmega328P a řízení servomotorů

Dalším úkolem zdrojové desky je generování signálů pro servomotory a k tomuto účelu je deska osazena mikrokontrolérem ATmega328P, který komunikuje pomocí sériového portu s řídicí jednotkou. Řídicí jednotka posílá údaje o natočení, rychlosti servomotorů.

Robot obsahuje celkem osmnáct servomotorů, a pokud by byl každý připojen k mikrokontroléru přímo, bylo by potřeba osmnáct výstupních portů. Z tohoto důvodu je využito dvou demultiplexorů. Oba demultiplexory jsou tříbitové a na jeden z nich je možné připojit osm servomotorů. Zapojení jednoho demultiplexoru k mikrokontroléru je na obrázku č. 29.

Dále mikrokontrolér umožňuje sledování napětí na baterii. Baterie je připojena na AD převodník mikrokontroléru a je tak možné chránit baterii před podpětím. Pokud dojde k poklesu napětí na kritickou hodnotu, bude napájení servomotorů vypnuto. Informace o napětí baterie může být posílána přes sériový port do hlavní řídicí jednotky.



Obr. 29: Zapojení ATmegy328P s jedním demultiplexorem

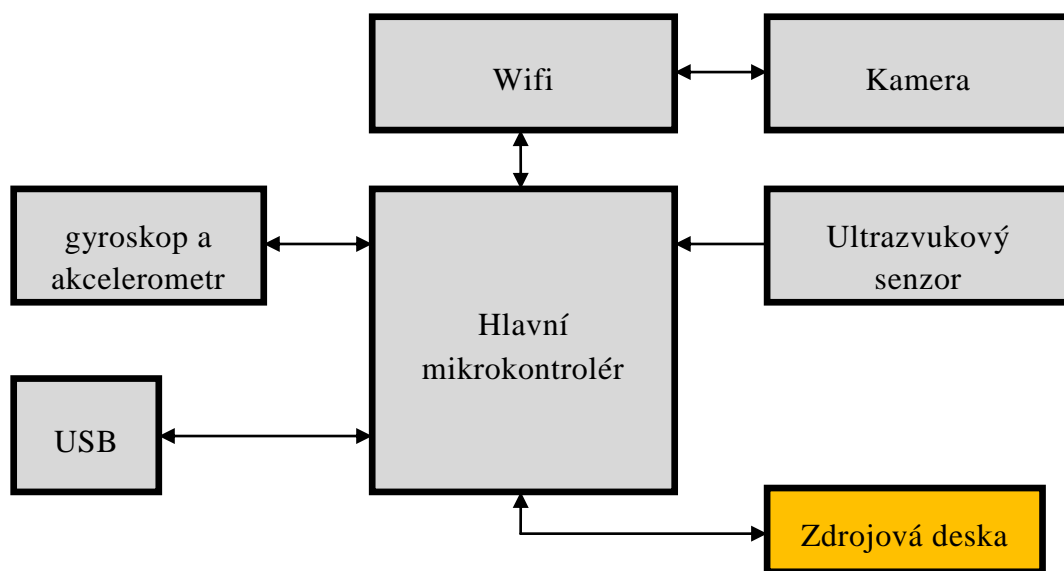
Multiplexor/demultiplexor HEF4051BT

Tento obvod může být 8 kanálovým multiplexorem nebo demultiplexorem, podle toho, jak je zapojen. V tomhle případě je zapojen jako demultiplexor. Má tři adresové vstupy (S1 – S3), pomocí nichž je vybráno, na který výstup (Y0 – Y7) je vyslán signál přiváděný na vstup (Z). Obvod má také povolovací vstup (\bar{E}), který je v tomto návrhu pevně připojen na zem. Napájecí napětí obvodu může být v rozsahu 3 – 15V, přičemž maximální vstupní napětí může být od 0 V do napětí napájecího. [29]

2.5 Hlavní řídicí deska

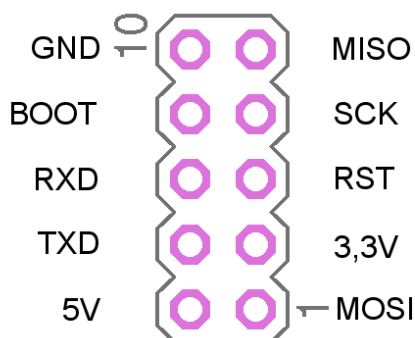
Tato deska představuje jakýsi mozek robota. Jsou k ní připojeny veškeré snímače, kamera i WiFi modul. Základ desky tvoří 32 bitový mikrokontrolér s architekturou ARM Cortex-M4, který zpracovává veškerá data z okolních periférií. Jediným prvkem, který není zapojený přes tento hlavní mikrokontrolér, je kamera. Kamera je propojena přímo s WiFi modulem a obrázky z kamery jsou posílány bez větších úprav přímo k uživateli. Na obrázku č. 30 je blokové schéma této řídicí desky. Port USB slouží k ladění robota a nahrávání firmwaru do mikrokontrolerů.

Úkolem hlavního mikrokontroleru je zpracování signálů ze snímačů, která jsou následně vyhodnocovány nebo odesílány pomocí WiFi k uživateli. Dále jsou v mikrokontroleru nahrány algoritmy pro chůzi robota.



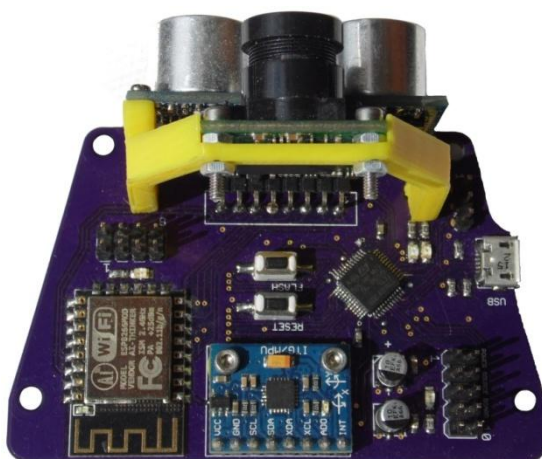
Obr. 30: Blokové schéma řídicí jednotky

Řídicí deska je připojena ke zdrojové desce pomocí deseti žilového kabelu, který je na obou stranách opatřen samořeznými konektory. Rozložení pinů je znázorněno na obrázku č. 31.



Obr. 31: Rozložení pinů konektoru, který propojuje zdroj a řídicí desku

Na obrázku č. 32 je fotografie zhotovené řídicí desky. Deska plošných spojů byla vyrobena firmou OSH Park. Držák kamery a ultrazvukového snímače byl vytisknut na 3D tiskárně.



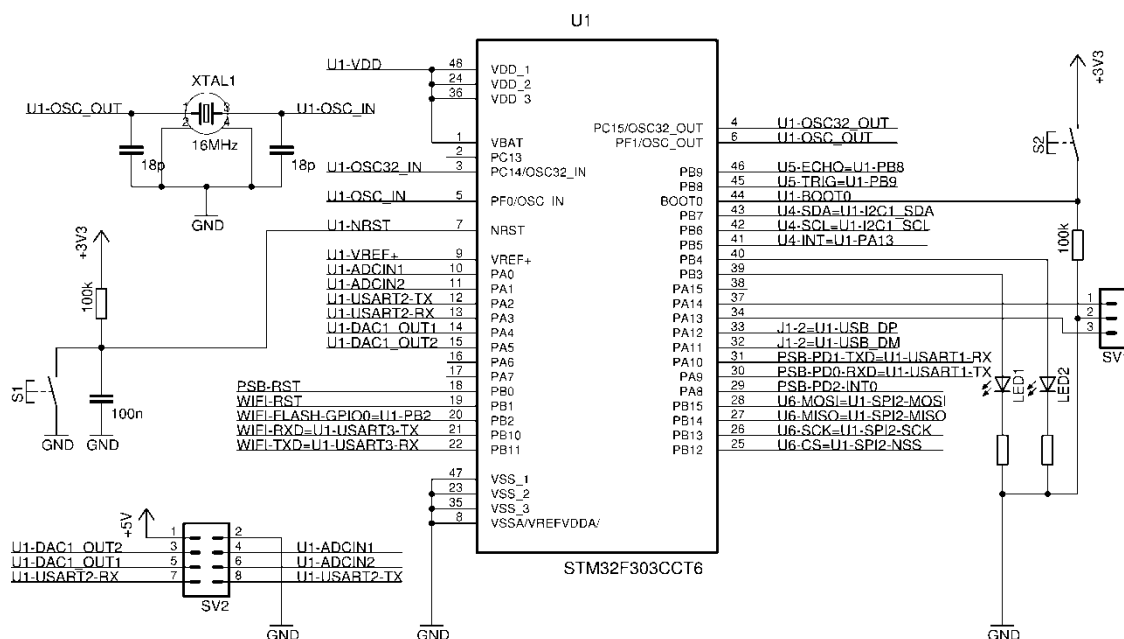
Obr. 32: Realizovaná řídicí deska

2.5.1 Zapojení mikrokontroleru STM32F303CCT6

Zjednodušené schéma zapojení mikrokontroleru je uvedeno na obrázku č. 33. Napájecí napětí mikrokontroleru je 3,3 V. Jako zdroj hodinového signálu je použit externí krystal (XTAL1) o frekvenci 16 MHz. Výsledná taktovací frekvence mikrokontroleru bude 48 MHz a bude získána pomocí fázového závěsu uvnitř mikrokontroleru. Tato frekvence je důležitá pro správnou funkčnost USB portu.

Dále jsou k mikrokontroleru připojena dvě tlačítka S1 a S2. Tlačítko S1 slouží k resetu mikrokontroleru a tlačítko S2 ke změně bootovacího režimu. LED diody LED1 a LED2 slouží převážně pro ladění programu, ovšem pokud se mikrokontrolér nachází v programovacím režimu, dioda LED3 slabě svítí.

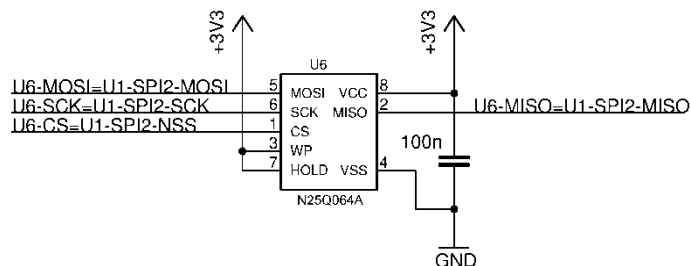
Konektor SV1 slouží k ladění programu a je k němu připojeno SWD rozhraní mikrokontroleru. Konektor SV2 je určen pro možné budoucí rozšíření desky.



Obr. 33: Zapojení mikrokontroleru STM32F303CCT6

2.5.2 Paměť Flash N25Q064A

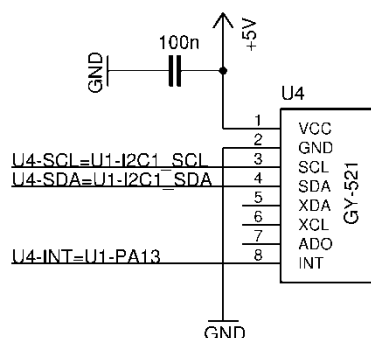
Jedná se o paměť typu NOR Flash s velikostí 64 Mbit. Paměť je k mikrokontroléru připojena pomocí sériového rozhraní SPI. Napájecí napětí paměti je 3,3 V. Tato paměť je použita pro ukládání dat, která mají zůstat v paměti i po odpojení napájecího napětí.



Obr. 34: Zapojení Flash paměti N25Q064A

2.5.3 Zapojení modulu GY-521

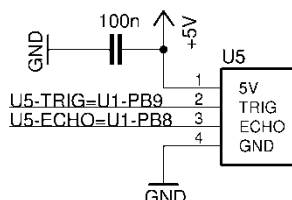
Modul GY-521 obsahuje akcelerometr, gyroskop, teploměr a je připojen pomocí sběrnice I²C. Napájecí napětí tohoto modulu je 5 V, což znamená, že je nutné připojit modul na sběrnici I²C mikrokontroléru (STM32), která je napěťově tolerantní.



Obr. 35: Zapojení modulu GY-521

2.5.4 Zapojení ultrazvukového senzoru

Ultrazvukový senzor má jeden vstup (TRIG) a jeden výstup (ECHO). Napájecí napětí tohoto modulu je 5 V, což znamená, že je nutné připojit jeho výstup (ECHO) na vstup mikrokontroléru (STM32), který je napěťově tolerantní.

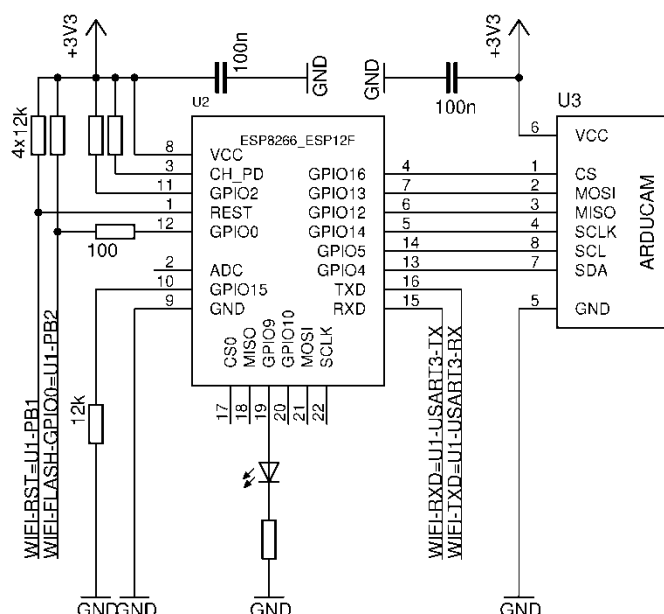


Obr. 36: Zapojení ultrazvukového senzoru

2.5.5 Zapojení WiFi modulu a kamery

Napájení obou modulů je 3,3 V. Zapojení je uvedeno na obrázku č. 37. Kamera je připojena přímo na WiFi modul sběrnicí SPI, přes kterou jsou odesílána data zachyceného obrázku, a sběrnicí I²C, která umožňuje řízení kamerového modulu.

Pro správnou činnost WiFi modulu je nutné připojit kromě pinu VCC i piny CH_PD, GPIO2 a to přes rezistor na napájecí napětí. Pin GPIO2 spolu s pinem GPIO0 určuje boot režim modulu. V tomto případě je potřeba pouze režimu normálního (načtení programu z paměti Flash) a programovacího (nahrání programu pomocí sériového portu), a proto pro výběr režimu stačí pouze ovládat pin GPIO0, který je připojen k hlavnímu mikrokontroléru (STM32). Aby bylo možné modul kdykoliv resetovat, je pin REST připojen k hlavnímu mikrokontroléru. Komunikace s hlavním mikrokontrolérem probíhá přes sériový port (piny TXD a RXD). Dále byla na port GPIO9 připojena led dioda, která svítí v případě, že je modul v režimu programování.



Obr. 37: Zapojení WiFi modulu a kamery

2.6 Firmware

Tato kapitola se zabývá firmwarem, který byl naprogramován pro všechny použité mikrokontroléry (deska zdroje, řídicí deska, modul WiFi) a jeho nahráním do mikrokontroléru. Firmware byl naprogramován v jazyce C, pouze firmware pro WiFi modul byl naprogramován v C++ s použitím platformy Arduino.

2.6.1 Nahrávání firmwaru do mikrokontrolerů

Od samého začátku návrhu elektroniky robota byl kladen důraz na jednoduché a jednotné nahrávání firmwaru do řídicí, zdrojové desky a WiFi modulu. Programování probíhá přes USB, které je umístěno na řídicí desce. Port USB má dva režimy, a to buď DFU (Direct Firmware Upgrade) režim nebo představuje virtuální sériový port.

Nahrání firmwaru do řídicího mikrokontroleru STM32F303CCT6

Tento mikrokontrolér obsahuje již z výroby bootloader, který podporuje nahrávání firmwaru přes USB port, anebo přes dva sériové porty. Přepnutí mikrokontroléru do nahrávacího módu se provádí podržením tlačítka „Flash“ na desce a následným stisknutím tlačítka „reset“. Nyní se USB port nachází v režimu DFU, modrá led dioda slabě svítí, a je možné pomocí příslušného programu nahrát firmware. Například je možné využít volně dostupný program dfu-util, který byl v tomto projektu použit.

Další možností je využití SWD rozhraní, které je vyvedeno na konektoru pod USB portem. Tato rozhraní slouží převážně k ladění programu, umožňuje krokování programu, nahlédnutí do registrů a paměti mikrokontroléru v reálném čase. Rozhraní má pouze dva základní vývody „SWDIO“ data vstup/výstup a „SWCLK“ hodinový vstup. V této práci byl použit jako USB adaptér ST-LINK V2.

Nahrání firmwaru do zdrojové desky

Zdrojová deska obsahuje mikrokontrolér ATmega328P, do kterého byl nahrán bootloader umožňující programování mikrokontroléru pomocí sériového portu. Tento bootloader byl do mikrokontroléru nahrán pomocí AVR ISP (In System Programming) rozhraní, které je vyvedeno na konektor desky a je pinově kompatibilní s USBasp programátorem, který byl použit. Použití AVR ISP programátoru je první možný způsob nahrání firmwaru do zdrojové desky.

Další možností je právě využití bootloaderu, který se v mikrokontroléru nachází. Programování bude probíhat přes sériový port, který je připojen k mikrokontroléru řídicí desky (STM32). Port USB umístěný na řídicí desce je v normálním stavu nastaven jako virtuální sériový port. Pro zahájení programování mikrokontroléru zdrojové desky je nutné na tento virtuální sériový port odeslat bajt „0xDD“. Následně mikrokontrolér řídicí desky (STM32) vytvoří most mezi sériovým portem zdrojové desky a virtuálním sériovým portem. Poté je možné využít program, který umožňuje nahrávání firmwaru přes sériový port. V této práci byl použit volně dostupný program avrdude.

Nahrání firmwaru do WiFi modulu

Programování WiFi modulu je velmi podobné jako u zdrojové desky. Modul obsahuje také bootloader, který umožňuje nahrání firmwaru do paměti přes sériový port. Stejně jako u programování zdrojové desky je opět využito mostu mezi virtuálním sériovým portem a sériovým portem WiFi modulu. Aktivace mostu se provádí odesláním bajtu „0xDC“ na virtuální sériový port, jestliže bude WiFi modul přepnut do režimu programování, rozsvítí se červená dioda u WiFi modulu. Nahrávání firmwaru, popřípadě komunikace s WiFi modulem, se provádí pomocí programu esptool.

V případě problémů je sériový port vyveden na plošky spodní strany DPS řídicí desky a je tak možné připojit se přímo na sériový port WiFi modulu. Dále je vyveden i reset a „boot“ pin modulu, který umožňuje uvést WiFi modul do programovacího režimu.

2.6.2 Firmware zdrojové desky

Firmware je nahrán do mikrokontroléru ATmega328p, který je umístěn na zdrojové desce. Hlavním úkolem je generování řídicích impulsů pro servomotory. Na obrázku č. 38 je uveden vývojový diagram hlavní programové smyčky.

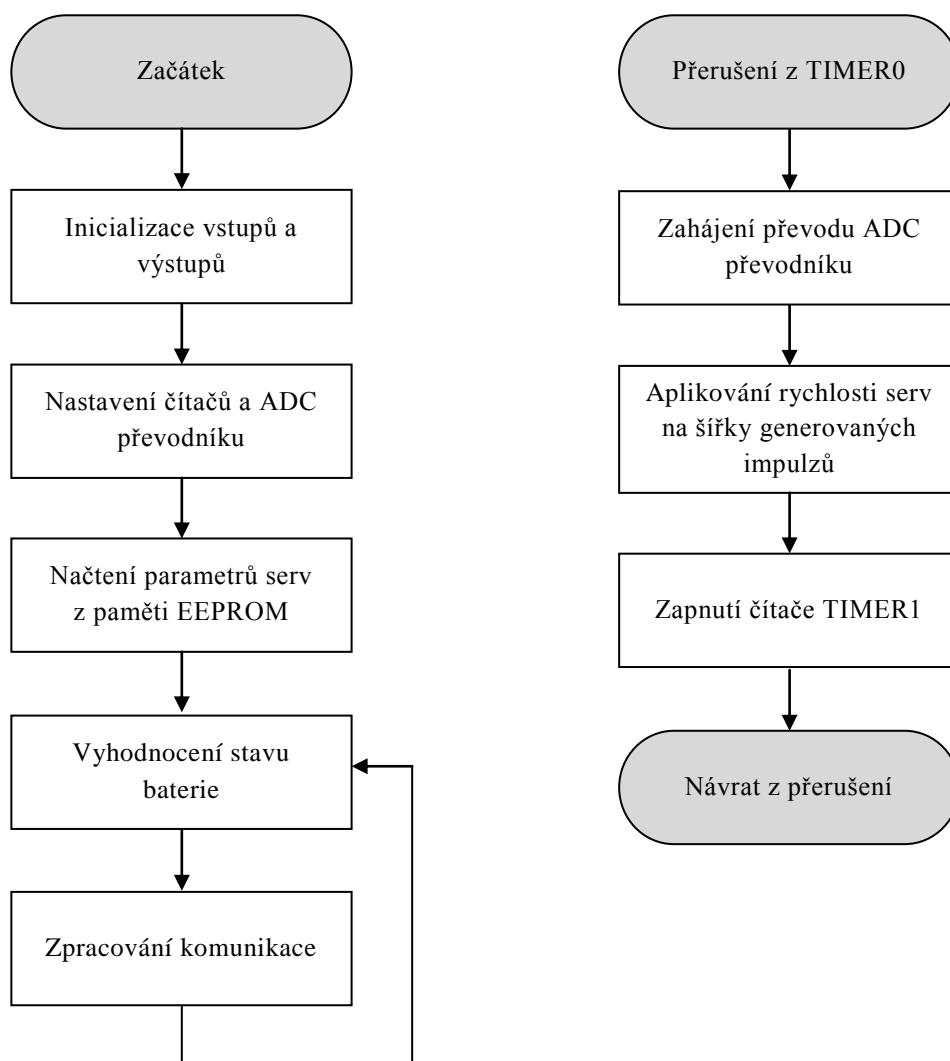
Program začíná inicializací vstupů a výstupů, převážně se jedná o výstupy, které jsou připojeny na demultiplexory, a slouží k adresování jednotlivých servomotorů. Dále je provedeno nastavení ADC převodníku, který zajišťuje údaj o aktuálním napětí na bateriích. Následně dochází k nastavení dvou čítačů, které jsou použity (TIMER0 a TIMER1). Poté jsou načteny parametry servomotorů (počáteční poloha, rychlost, limity, offset) z paměti EEPROM. Pro uložení těchto hodnot bylo vytvořeno pole `servos[18]`, složené ze struktury `Servo`.

```
struct Servo{
    uint16_t actual_pos;
    uint16_t generated_pos;
    uint16_t default_pos;
    uint16_t max;
    uint16_t min;
    uint16_t offset;
    uint8_t speed;
    uint8_t port_mask;
    uint16_t pulse_width;
}servos[18];
```

Proměnná `actual_pos` obsahuje aktuální polohu serva, `generated_pos` je proměnná, která udržuje polohu na kterou se má servo natočit. Počáteční poloha je uložena v proměnné `default_pos`. `Min` a `max` obsahuje maximální limity servomotorů. Dále je ukládána požadovaná rychlost (`speed`) a `offset` servomotoru. Proměnná `port_mask` obsahuje kombinaci, kterou je nutné poslat na příslušné porty pro adresaci daného servomotoru. `Pulse_width` je proměnná, která obsahuje reálnou hodnotu (šířku impulsu) pro daný servomotor a je používána pro nastavení časovače TIMER1.

Časovač TIMER0 má pevně danou periodu, při které dochází k jeho přetečení. Tato perioda je dána: $T = 9 \cdot 2,5 \text{ ms} = 22,5 \text{ ms}$. Servomotory jsou ovládány po dvou (celkem 18 servomotorů) a jejich maximální délka impulsu je 2,5 ms. Úkolem tohoto čítače je zapínání čítače TIMER1, který generuje řídicí signály pro servomotory. Čítač TIMER1 se po obsloužení všech servomotorů sám vypne a to nezávisle na délkách generovaných impulsů. A z tohoto důvodu je v dané frekvenci zapínám čítačem TIMER0, což vede ke stabilizaci frekvence impulsů. Dále je tohoto čítače využito pro spuštění ADC převodníku, který je připojen na baterii. Další využití je pro regulaci rychlosti servomotorů, při každém přetečení dochází k rozšíření impulsu, dokud impuls nedosáhne požadované šířky (požadovaná poloha servomotoru). Velikost rozšíření impulsu je dána požadovanou rychlostí serva.

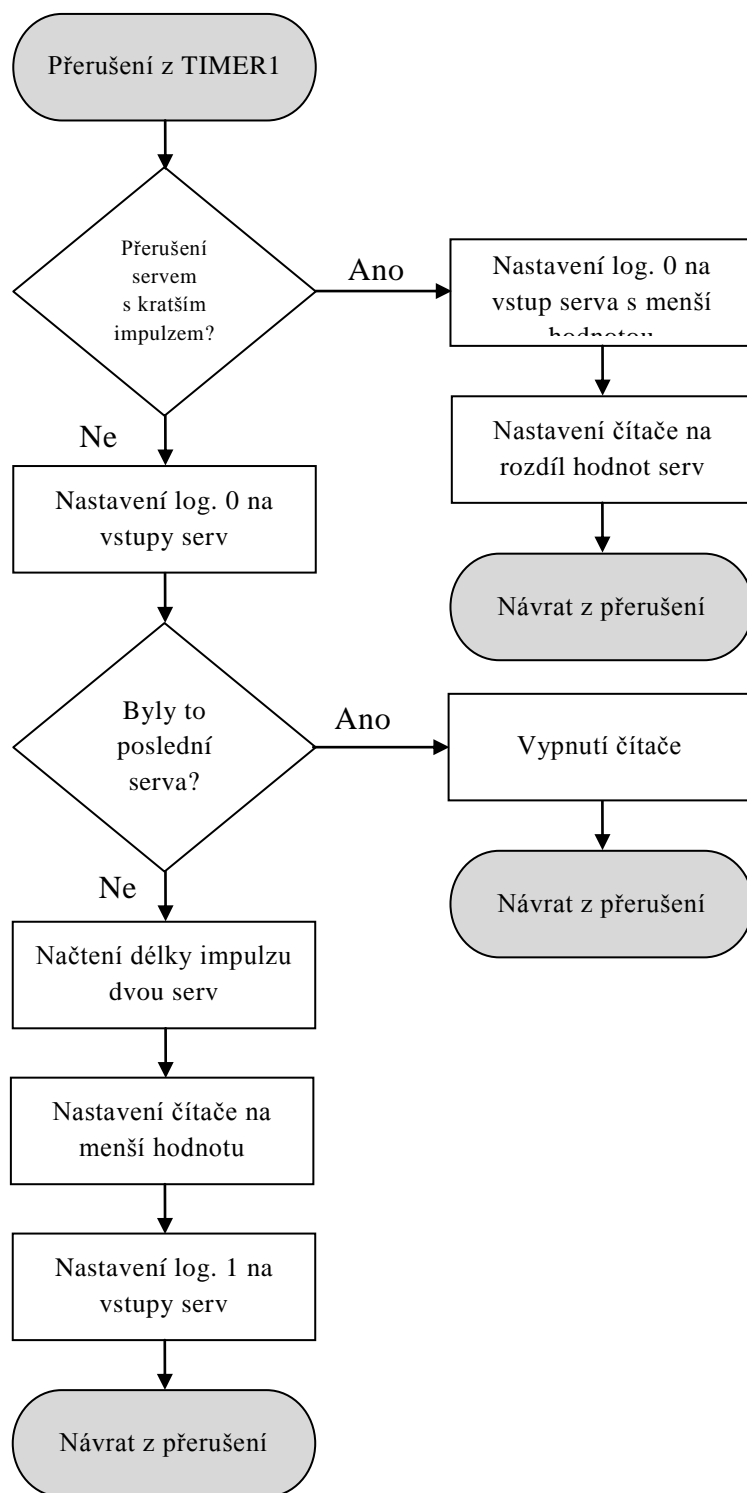
Hlavní smyčka programu se skládá pouze z vyhodnocení stavu baterie a v případě podpětí informuje řídicí jednotku. Dále je zpracovávána komunikace s řídicí jednotkou.



Obr. 38: Vývojový diagram firmwaru zdrojové desky

Čítač TIMER1 zajišťuje generování řídicích impulzů pro servomotory, algoritmus tohoto generování je uveden v blokovém diagramu na obrázku č. 39. Mějme případ, kdy generování začíná od prvního servomotoru. Čítač TIMER1 je spuštěn při přetečení čítače TIMER0 a téměř okamžitě dochází k přerušení od čítače TIMER1. Generování impulzu probíhá zároveň pro dva servomotory, v tomto případě pro první dva servomotory. V obsluze přerušení jako první dochází ke zjištění, zda již byl vygenerován impulz pro servo s kratší délkou impulzu z vybraných dvou servomotorů. V tomto případě začínáme znova od prvního servomotoru, takže nebyl a dojde k nastavení nízké úrovně na vstupy prvních dvou servomotorů. Dále je zjišťováno, jestli se jedná o poslední dva servomotory a čítač má být vypnut. Nejedná, a proto program pokračuje dále, dochází k načtení šířek impulzů obou servomotorů, nastavení čítače na hodnotu kratšího impulzu a nastavení vysoké úrovně na vstupy obou servomotorů. Následně dojde k návratu z přerušení. Čítač TIMER1 nyní počítá do hodnoty, která odpovídá šířce kratšího impulzu, po jeho přetečení je opět vyvoláno přerušení. Nyní ovšem obsluha

přerušení zjistí, že přerušení proběhlo pro první servo ze dvou (to s kratším impulzem) a dojde k nastavení nízké úrovně na vstup tohoto servomotoru. Tím došlo konečnému vygenerování impulzu pro servomotor s kratší délkou impulzu. Dále je čítač nastaven hodnotu, která představuje rozdíl šířek impulzů a dochází k návratu z přerušení. Při dalším přerušení dochází k nastavení nízké úrovně i na vstup druhého servomotoru a tím je generování impulzu pro obě tyto serva u konce. Pokud se nejedná o poslední dvě serva, program se opakuje pro následující dvě serva, jinak je čítač TIMER1 vypnut.

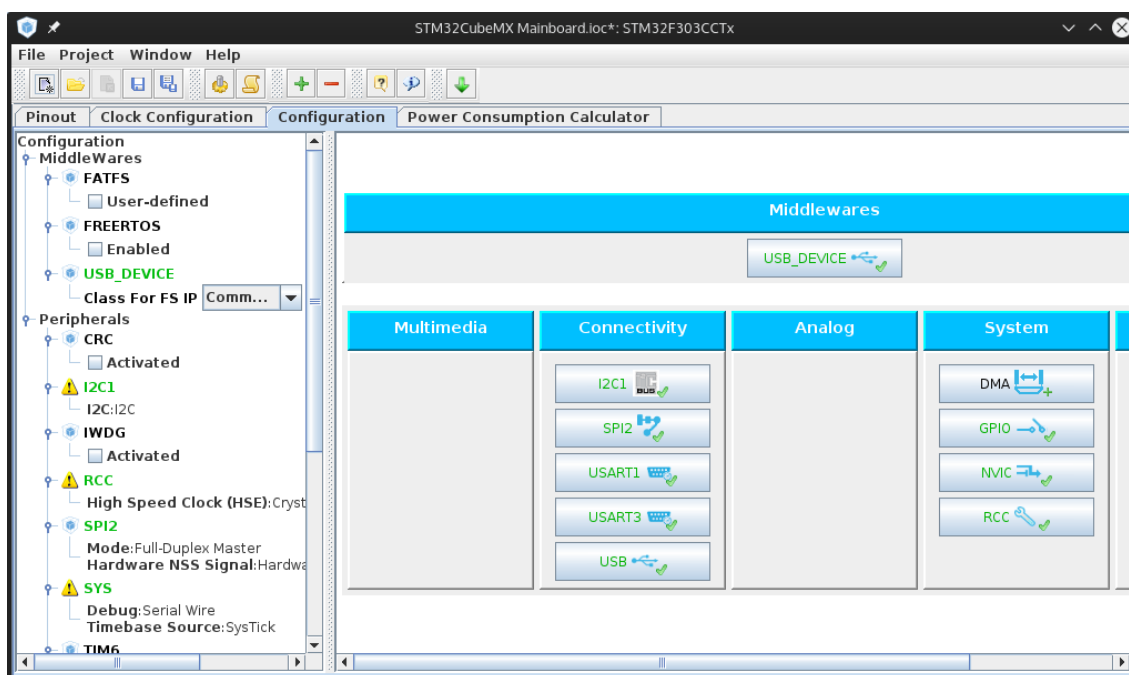


Obr. 39: Vývojový diagram generování řídicích impulzů pro servomotory

2.6.3 Firmware řídicí desky

Tento firmware je nahrán do hlavního řídicího mikrokontroléru STM32F303CCT6. Jeho úkolem je řídit polohy servomotorů podle povelu na požadovaný pohyb robota. Komunikuje s WiFi modulem a deskou zdroje. Dále také zpracovává data z ultrazvukového senzoru, gyroskopu a akcelerometru.

Firmware byl naprogramován ve vývojovém prostředí TrueSTUDIO, které je volně ke stažení. Dále byl použit program STM32Cube, který umožňuje vygenerování „šablony“ programu, ve které jsou nastaveny vstupní a výstupní porty, taktovací frekvence, režimy čítačů atd. Ukázka programu STM32Cube je na obrázku č. 40.



Obr. 40: Ukázka programu STM32Cube

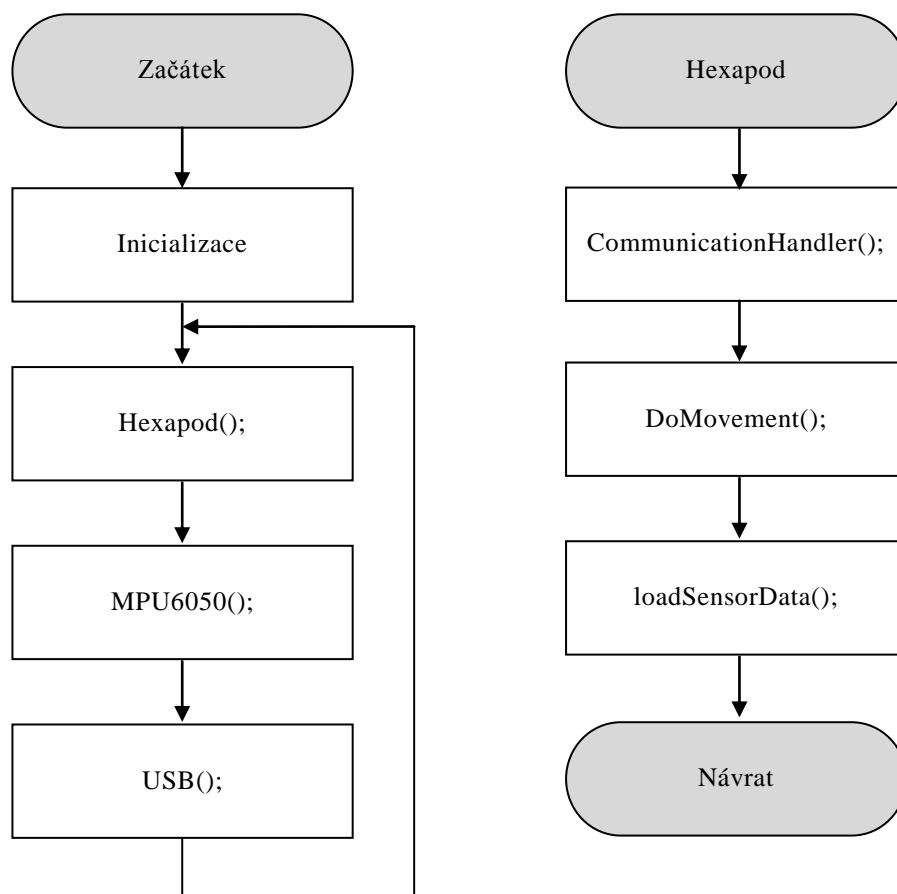
Při programování firmwaru nebylo použito žádného operačního systému. Byly využity pouze ovladače HAL_Drivers, které umožňovaly snazší přístup k perifériím mikrokontroléru.

Na obrázku č. 41 je uveden vývojový diagram hlavní programové smyčky firmwaru řídicí desky. První blok představuje nastavení vstupních a výstupních portů, čítačů, sériových portů a I²C sběrnice. Dále je ověřeno, zda jsou všechny potřebné jednotky a snímače připojeny a komunikují.

Další blok (Hexapod) představuje podprogram, který zajišťuje: zpracovávání komunikace s WiFi modulem (CommunicationHandler), provádění požadovaného pohybu (DoMovement) a načítání dat ze senzorů (loadSensorData).

Dalším blokem (MPU6050) je podprogram, který čte data z modulu MPU6050 a vypočítává z nich příslušné úhly natočení robota.

Blok USB představuje podprogram, který zpracovává komunikaci přes USB port. Na základě přijatých bajtů může přepínat mikrokontrolér do režimů programování. Další využití má USB port při ladění programu.



Obr. 41: Vývojový diagram firmwaru řídicí desky

Komunikace s řídicí jednotkou probíhá ve čtyřbajtových rámcích. Prvním bajtem je začáteční bajt, který má hodnotu 0xC0. Následuje hlavní bajt, který z pravidla udává nějaký příkaz robotovi. Dále je vedlejší bajt, který je potřebný pouze pro některé typy příkazů. Rámec končí koncovým bajtem, který má hodnotu 0x0C. V tabulce č. 11 jsou uvedeny některé dvoubajtové příkazy.

Tab. 11: Příkazy řídicí jednotky - dvoubajtové

	Hlavní bajt	Vedlejší bajt
zapnutí servomotorů	0xCE	není
vypnutí servomotorů	0xCD	není
počáteční poloha	0xAA	není
požadavek na údaje ze senzorů	0x14	není
uložení nastavení do paměti	0x19	není
nastavení pohybu robota	0x10	dle požadovaného pohybu
nastavení výšky robota	0x91	výška
nastavení X úhlu	0x93	úhel
nastavení Y úhlu	0x92	úhel
nastavení Z úhlu	0x94	úhel

Příklad rámce příkazu pro nastavení výšky robota na 200 je uveden na obrázku č. 42.

0xC0	0x91	0xC8 (200)	0x0C
------	------	------------	------

Obr. 42: Příklad komunikačního rámce pro dvoubajtový příkaz

Pro nastavení polohy, rychlosti, offsetu jednotlivého serva jsou použity čtyřbajtové příkazy. Tyto příkazy se posílají jako dva dvoubajtové příkazy za sebou. Čtyřbajtové příkazy jsou uvedeny v tabulce č. 12.

Tab. 12: Příkazy řídicí jednotky - čtyřbajtové

H – více významný bajt L – méně významný bajt	Hlavní bajt	Vedlejší bajt
nastavení polohy servomotoru	0x30	servomotor
	poloha H	poloha L
nastavení rychlosti servomotoru	0x15	servomotor
	rychlost H	rychlost L
nastavení offsetu servomotoru	0x13	servomotor
	offset H	offset H
nastavení počáteční polohy servomotoru	0x16	servomotor
	poloha H	poloha L
nastavení minimální polohy servomotoru	0x17	servomotor
	poloha H	poloha L
nastavení maximální polohy servomotoru	0x18	servomotor
	poloha H	poloha L
nastavení polohy více servomotorů	0x20	skupina servomotorů
	poloha H	poloha L

Příklad rámce příkazu pro nastavení polohy servomotoru č. 10 na 1234 je uveden na obrázku č. 43.

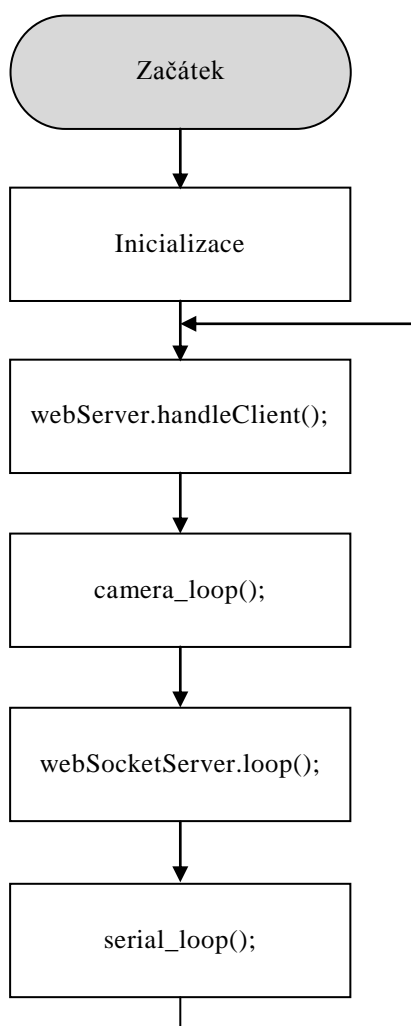
první rámec	0xC0	0x30	0x10	0x0C
druhý rámec	0xC0	0x04	0xD2	0x0C

Obr. 43: Příklad komunikačního rámce pro čtyřbajtový příkaz

2.6.4 Firmware WiFi

Firmware zajišťuje vytvoření webového serveru, který umožňuje zobrazení webového rozhraní, komunikaci s kamerovým modulem a komunikaci mezi uživatelem a řídicí jednotkou. Blokové schéma hlavní programové smyčky je znázorněno na obrázku č. 44.

Začátkem programu je inicializace, při které dochází k nastavení WiFi modulu jako přístupový bod, ke kterému je možné se připojit. Dále se nastaví kamerový modul (formát obrázku, rozlišení atd.). Hlavní programová smyčka se skládá z volání metody `webServer.handleClient()`, která detekuje případné nové uživatele a požadavek na zobrazení webového rozhraní. Při požadavku na odeslání hlavní stránky webového rozhraní je volána funkce `handle_root()`. Dále je volána funkce `camera_loop()`, která v případě, že je aktivní kamera, komunikuje s kamerovým modulem a získává data snímaných obrázků, které jsou následně posílány prostřednictvím protokolu WebSocket poslednímu uživateli, který aktivoval kameru. Metoda `websocketServer.loop()` je volána pro zpracování komunikace mezi uživateli a WiFi modulem prostřednictvím protokolu WebSocket, který běží na portu 81. Přes tento protokol probíhá veškerá komunikace s robotem (odesílání povelů, příjem dat ze snímačů, kamera atd.). Metoda `serial_loop()` zajišťuje komunikaci mezi WiFi modulem a řídicí deskou, která probíhá přes sériový port.



Obr. 44: Vývojový diagram hlavní smyčka firmwaru WiFi modulu

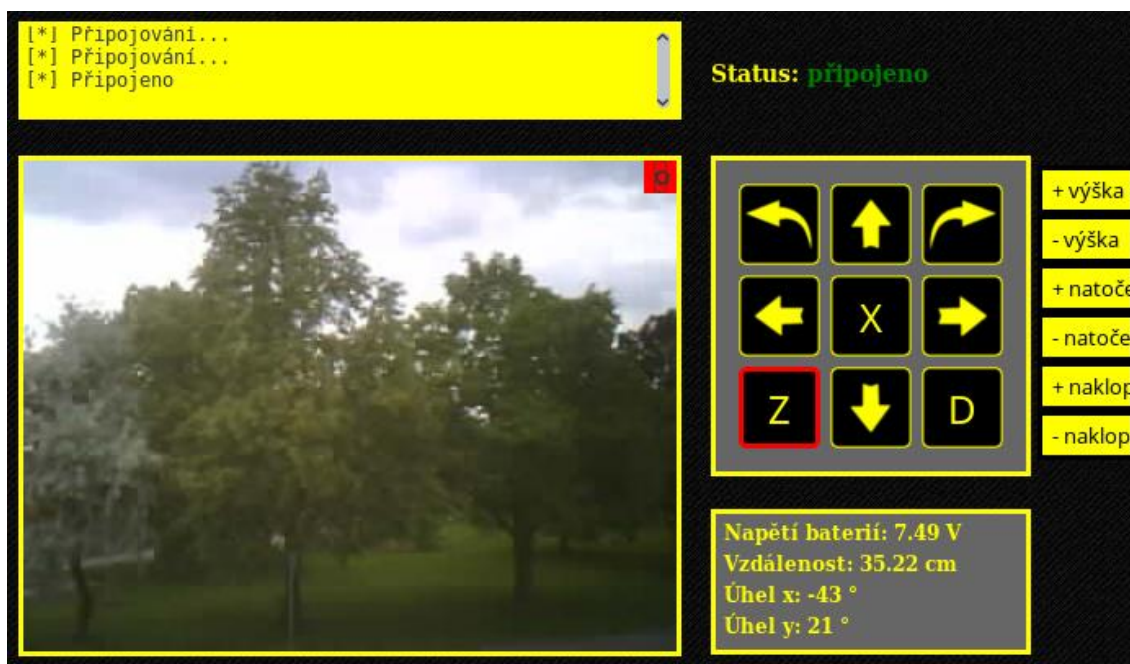
2.7 Ovládací software

Pro pohodlné ovládání robota bylo vytvořeno jednoduché uživatelské rozhraní, ve kterém je možné ovládat pohyb robota nebo sledovat jeho pohyb pomocí vestavěné kamery. První možností je použití webového rozhraní, které je možné rozrazit po připojení na WiFi síť robota. Druhou možností je použití programu pro počítač, který umožňuje širší nastavování robota.

2.7.1 Webové rozhraní

Webové rozhraní je nahráno ve WiFi modulu a po připojení k této WiFi síti je možné, pomocí webového prohlížeče s použitím adresy <http://192.168.1.1>, jej zobrazit. Ukázka webové stránky pro řízení robota je uvedena na obrázku č. 45. Základem ovládání je devět tlačítek, pomocí nichž je možné uvést robota do pohybu. Tlačítko „Z“ zapíná nebo vyplívá napájení servomotorů, tlačítko „D“ uvede robota do počáteční polohy. Zbýlých sedm tlačítek určuje pohyb robota směrem, kterému odpovídají šipky. Dále je možné také měnit výšku, natočení, naklopení robota. Pod tlačítky se nachází informační panel, který zobrazuje základní informace: napětí baterií, vzdálenost překážky a údaje z gyroskopu/akcelerometru. Poslední věcí je sledování okolí pomocí kamery a její zapnutí nebo vypnutí.

Webová stránka byla naprogramována v jazyce HTML a CSS. Dále byl použit JavaScript pro dekodování obrázků z kamery, komunikaci a funkčnost tlačítek. Celá stránka je webovému prohlížeči odeslána pouze při zadání adresy, anebo obnovení, poté veškerá komunikace probíhá přes port 81 pomocí komunikačního protokolu WebSocket. A právě pro správnou funkčnost toho webového rozhraní je nutné použití webového prohlížeče, který tento protokol podporuje.

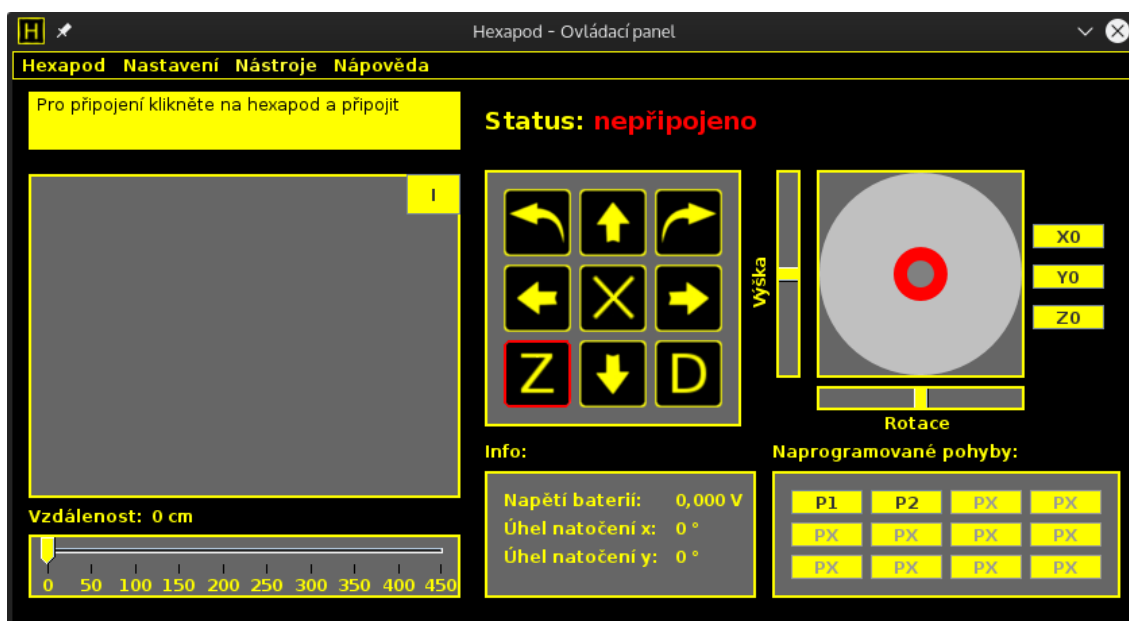


Obr. 45: Webové rozhraní pro ovládání robota

2.7.2 Program pro operační systém

Další možností řízení robota je použití programu pro operační systém. Tento program má oproti webovému rozhraní několik ovládacích prvků navíc a umožňuje i nastavení parametrů servomotorů. Program byl naprogramován v jazyce Java, což jej činí kompatibilním s různými operačními systémy (vyzkoušeno na operačních systémech Windows a Linux).

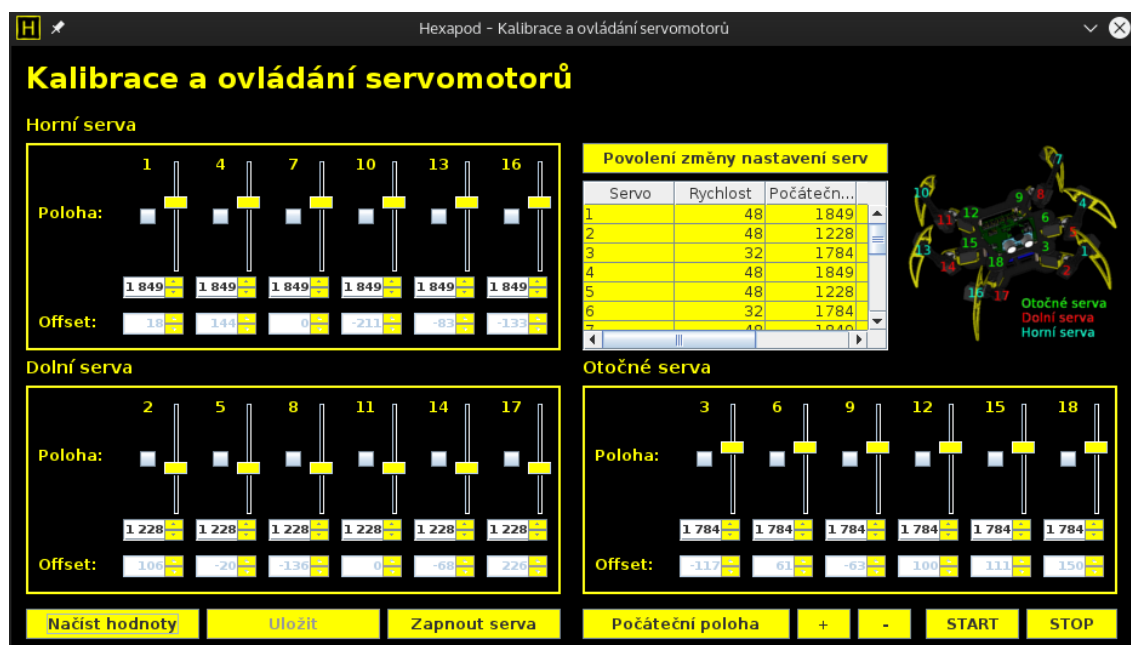
Program je podobný webovému rozhraní a je patrný na obrázku č. 46. Připojení k robotovi je prováděno přes záložku „Hexapod“ a poté „Připojit“. Uprostřed se nachází tlačítka pro ovládání chůze robota. Stejně jako u webového rozhraní tlačítko „Z“ zapíná nebo vypíná napájení servomotorů, tlačítko „D“ uvede robota do počáteční polohy. Na levé straně je okno kamery, kterou je opět možné zapnout nebo vypnout. Pod tímto oknem je zobrazována vzdálenost překážky. Vedle se nachází informační panel, který zobrazuje napětí baterií, a údaje z gyroskopu/akcelerometru. Na pravé straně se nachází joystick, kterým je možné naklápět robota do všech stran. Dále je možné posuvníkem nastavovat výšku robota, anebo pomocí posuvníku „rotace“ natáčet robota kolem svislé osy, což lze využít pro natáčení kamery do stran. Tlačítka „X0“, „Y0“ a „Z0“ nulují tyto naklopení a otočení. Pod těmito ovládacími prvky je tlačítka. Tyto tlačítka slouží pro vyvolání automatického provádění přeprogramovaného pohybu.



Obr. 46: Uživatelské rozhraní pro operační systém

Další součástí tohoto programu je kalibrační okno, pomocí něhož je možné nastavovat parametry servomotorů. Tohle okno je možné zobrazit pomocí nabídky „Nástroje“ a poté „Kalibrace a ovládání servomotorů“. Kalibrační okno je uvedeno na obrázku č. 47. Servomotory jsou rozděleny do třech kategorií. Horní serva zvedají celou nohu, dolní serva zvedají pouze konce noh a otočné serva otáčejí celou nohou.

Pomocí posuvníků je možné měnit polohu jednotlivých servomotorů a to nezávisle na ostatních, případně lze měnit polohu u více servomotorů v rámci skupiny zároveň. Tlačítkem „Načíst hodnoty“ dojde k načtení aktuálních natočení, rychlosti, počáteční polohy, offsetu a maximální/minimální polohy servomotorů. Při povolení úprav tlačítkem „Povolení změny nastavení serv“ lze tyto hodnoty měnit. Změny se projeví okamžitě, ovšem bez uložení do paměti se po restartu robota ztratí, ukládání do paměti je provádí tlačítkem „Uložit“.



Obr. 47: Kalibrační okno uživatelského rozhraní

3 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit návrh šestinohého robota, který je bezdrátově ovládaný a je možné pomocí kamery sledovat jeho pohyb.

Konstrukce robota byla navržena v programu SolidWorks. Následně byla vyrobena ve dvou verzích. První verze byla vyrobena z kovových materiálů. Takto vyrobená konstrukce měla příliš velkou hmotnost v porovnání se sílou servomotorů, a proto bylo hledáno alternativní řešení. Řešením bylo vytisknutí dílů robota na 3D tiskárně. Díly vytisknuté na 3D tiskárně měly asi třikrát menší hmotnost a jejich realizace byla značně jednodušší, dále bylo možné realizovat některé složitější tvary. Ovšem kovová konstrukce měla i svou výhodu, byla daleko pevnější a vůle jednotlivých dílů byla značně menší.

Dále byla navržena a realizována zdrojová deska robota, která umožňuje řízení až 18 servomotorů s možností nastavení mnoha jejich parametrů (rychlost, maximální a minimální polohy, offset apod.). Největším problémem bylo zajištění napájecího napětí pro servomotory. Jmenovité napětí baterií je 7,4 V a servomotory pracují s maximálním napětím 6 V. Pro snížení napětí baterií byl použit spínaný zdroj, aby nedocházelo k velkým ztrátám na regulátoru. Ovšem tento spínaný zdroj musel správně fungovat i při malých rozdílech vstupního a výstupního napětí. Deska plošných spojů této napájecí části byla vyrobena v domácích podmínkách a to osvitom UV zářením. Největším problémem bylo zhotovení nepájivé masky. Byl použit zelený UV vytvrditelný lak. Tento lak bylo obtížné rovnoměrně nanést a po následném vytvrzení, docházelo k jeho odlupování a byl také špatně odolný při pájení.

Další elektronickou součást představuje řídicí deska, která obsahuje hlavní mikrokontrolér, WiFi modul, kameru a senzory. Použitý WiFi modul má velkou výhodu, a to v tom, že je možné ho dle svých potřeb naprogramovat. To znamená, že bylo možné připojit kamerový modul přímo k WiFi modulu a naprogramovat firmware pro komunikaci s kamerou a následné odesílání snímků přes WiFi. Nevýhodou je, že tento modul není příliš výkonný a při tomto zatížení (WiFi hotspot, webový server, websocket server, kamera) je komunikace s robotem omezená a pomalá, což se může projevit při odesílání několika povelů ve velmi krátkých okamžicích. Použitý kamerový modul umožňuje sledování pohybu robota a to s 10 – 15 snímky za sekundu při rozlišení 320x240 pixel. Kamerový modul umožňuje i daleko větší rozlišení obrázků, ovšem je zde velké omezení a to právě použitým WiFi modulem, který s kamerou komunikuje. Deska plošných spojů byla vyrobena na zakázku a je možné si všimnout daleko lepší kvality.

Dále bylo navrženo několik možných způsobů ovládání robota. Prvním z nich je použití webového rozhraní, které má velkou výhodu v tom, že je možné ho, po připojení se na WiFi síť robota, zobrazit na kterémkoliv zařízení s WiFi a webovým prohlížečem. Druhým je použití programu pro operační systém, který umožňuje širší ovládání a nastavování robota. Například je zde režim kalibrace, ve kterém je možné nastavovat polohu, offset, rychlost jednotlivých servomotorů.

Na základě získaných poznatků je možné navrhnout několik vylepšení. Prvním z nich je použití výkonnějších servomotorů. V tomto návrhu byl kladen velký důraz hlavně na cenu, a proto byly zvoleny právě tyto slabší, levnější servomotory, které jsou pro ukázkou funkčnosti robota naprosto dostačující, ovšem při delším provozu by mohlo dojít k jejich poškození. Další možnosti vylepšení robota:

- lepší využití dat získaných ze senzorů,
- autonomní režim, robot by detekoval překážky (pomocí ultrazvukového senzoru) a pohyboval se samostatně,
- chůze po nerovném povrchu a do kopce (využití gyroskopu a akcelerometru),
- aplikace pro smartphone - pohodlnější ovládání (dotykové ovládání, využití senzorů obsažených ve smartphonu),
- použití real-time operačního systému pro hlavní řídicí mikrokontrolér.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

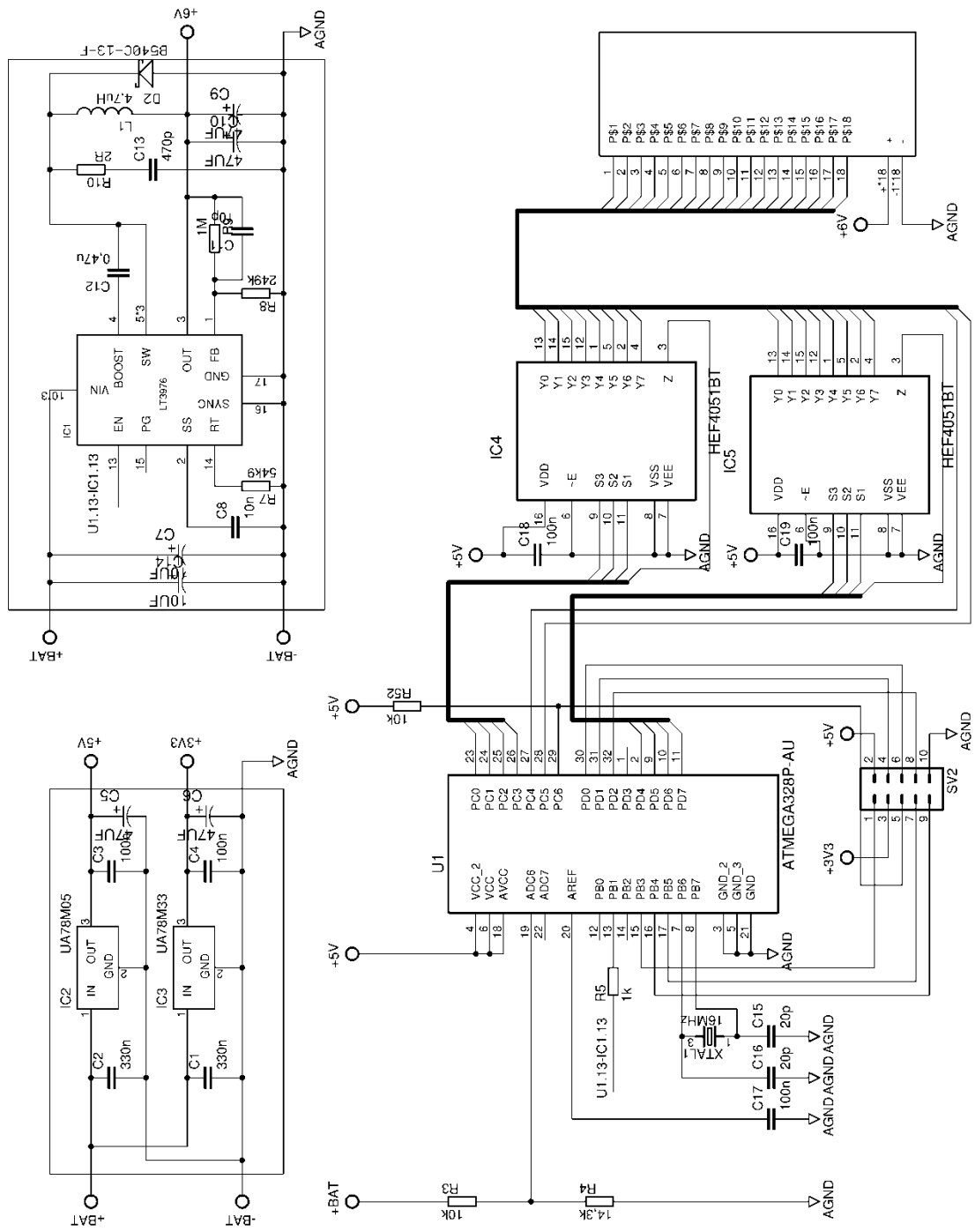
- [1] KREJSA, J. Vylepšení způsobu chůze 6 - nohého krácejícího robota Černá vdova. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2014.49s. Vedoucí bakalářské práce byl Ing. Vlastimil Kříž.
- [2] Jak fungují modelářská serva. In: vlastikd.webz.cz [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/DvZrjm>
- [3] Řízení serva: teorie. In: Serva a jejich ovládání [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/FC3CW9>
- [4] Seeedstudio: EMax 12g ES08MD. Seeedstudio.com: EMax 12g ES08MD high Sensitive servo [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/WYPo1f>
- [5] Product images. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: goo.gl/BQr0C9
- [6] VOJÁČEK, Antonín. Bezkontaktní indukční snímače přiblížení - obecný popis. In: Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru [online]. 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/UH6xYR>
- [7] VOJÁČEK, Antonín. Bezkontaktní kapacitní snímače přiblížení - obecný popis. In: Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru [online]. 2014 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/BIhNVI>
- [8] Pololu 38 kHz IR Proximity Sensor, Fixed Gain, High Brightness. [online]. [cit. 2015-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/5MvsjF>
- [9] VOJÁČEK, Antonín. Ultrazvukové senzory přiblížení. In: Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru [online]. 2005 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/3Gz75U>
- [10] User's Manual: V1.0. [online]. 2013 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/R1yVKG>
- [11] JURÁNEK, Martin. Prostředky automatického řízení [online]. Ostrava [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/kJSI6I>. VŠB Technická univerzita Ostrava.
- [12] HUSÁK, Miroslav. AKCELEROMETR. [online]. Praha: ČVUT FEL Praha. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/R73RVp>
- [13] VOJÁČEK, Antonín. Integrované MEMS GYROSKOPY. In: Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru [online]. 2009 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/jntOFs>
- [14] MPU-6000 and MPU-6050 Register Map and Descriptions Revision 4.0. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/77kaey>
- [15] MPU-6050 Accelerometer + Gyro. Arduino [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <http://playground.arduino.cc/Main/MPU-6050>

- [16] Bluetooth. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <https://goo.gl/mrCCOO>
- [17] WiFi. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2017-05-30]. Dostupné z: <https://goo.gl/G4myle>
- [18] ESP8266 a WeMos D1 [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/AajRhd>
- [19] Espressif Inc. ESP8266EX. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/iKZHM>
- [20] ArduCAM-M-2MP Camera Shield. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/EVUI>
- [21] Atmega ATmega328/P. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/zhKhTr>
- [22] STMicroelectronics STM32F303xC. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/Liq4op>
- [23] VOJTĚCH, Dalibor. Kovové materiály [online]. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006 [cit. 2016-12-12]. ISBN 80-708-0600-1.
- [24] ŠPIČÁK, P. Technologie výroby součástí z plastu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 61 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.
- [25] PRŮŠA, Josef a Michal PRŮŠA. Základy 3D tisku [online]., 12 [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/WZxynM>
- [26] Anet 3D. In: anet3d.com [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/UPPnCy>
- [27] μ A78Mxx Positive-Voltage Regulators. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/ng5Dtj>
- [28] Linear technology LT3976. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/9sjcOQ>
- [29] NXP HEF4051B. [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/DmrGF1>
- [30] ELECTRODRAGON. ElectroDragon [online]. [cit. 2016-12-12]. Dostupné z: <https://goo.gl/x2KmTS>

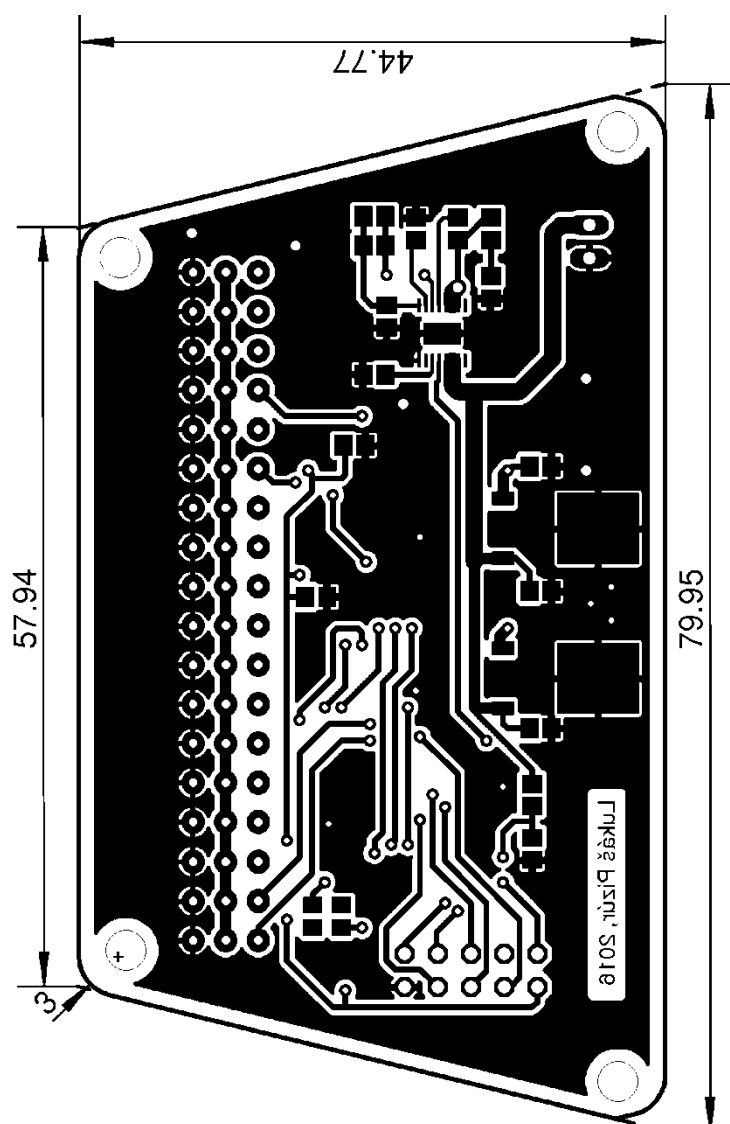
SEZNAM PŘÍLOH

A Kompletní schéma zdroje	55
B Zdroj DPS – bottom.....	56
C Zdroj DPS – top.....	57
D Fotografie realizované zdrojové desky	58
E Kompletní schéma řídicí jednotky.....	59
F Řídicí jednotka DPS – bottom.....	60
G Řídicí jednotka DPS – top	61
H Fotografie realizované řídicí desky.....	62
I Robot vymodelovaný v programu SolidWorks.....	63
J Fotografie vyrobeného robota z plastových dílů	64

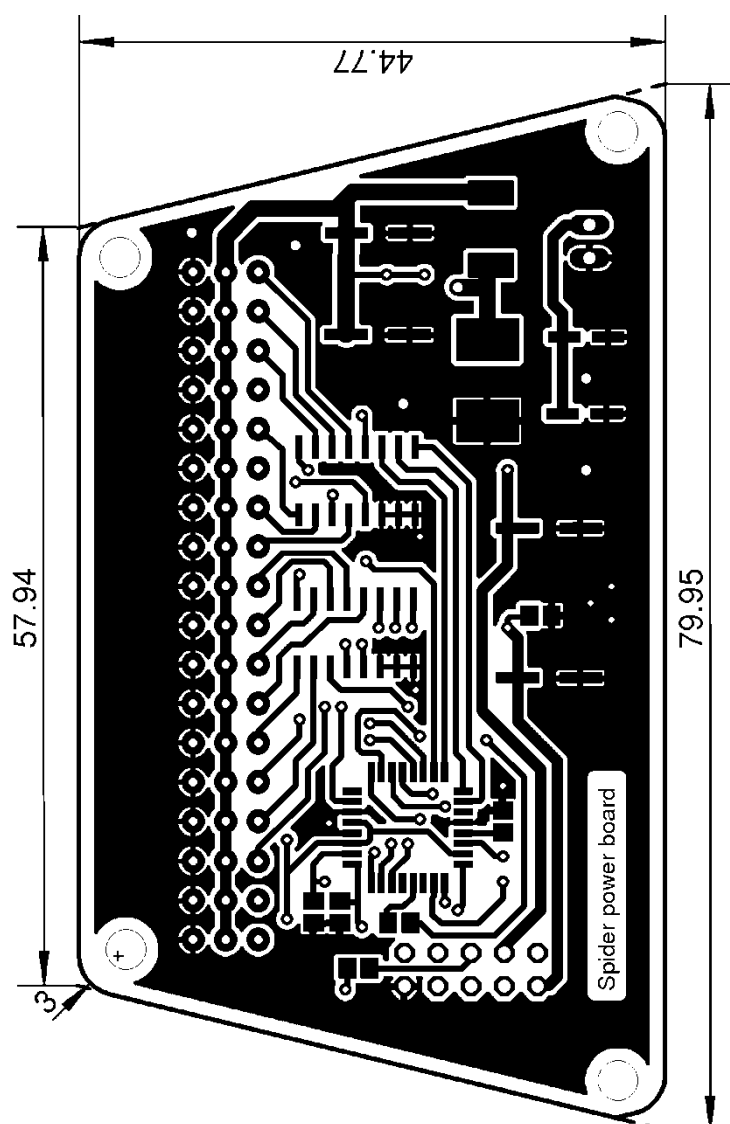
A Kompletní schéma zdroje



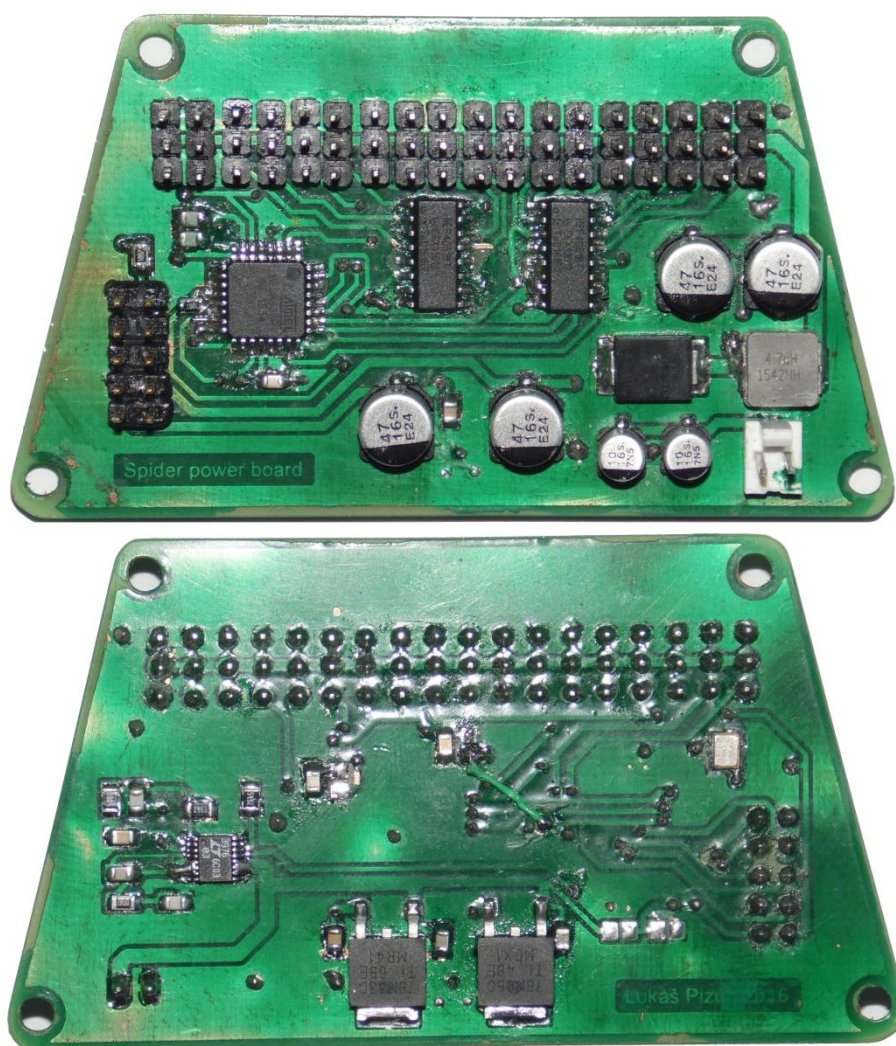
B Zdroj DPS – bottom



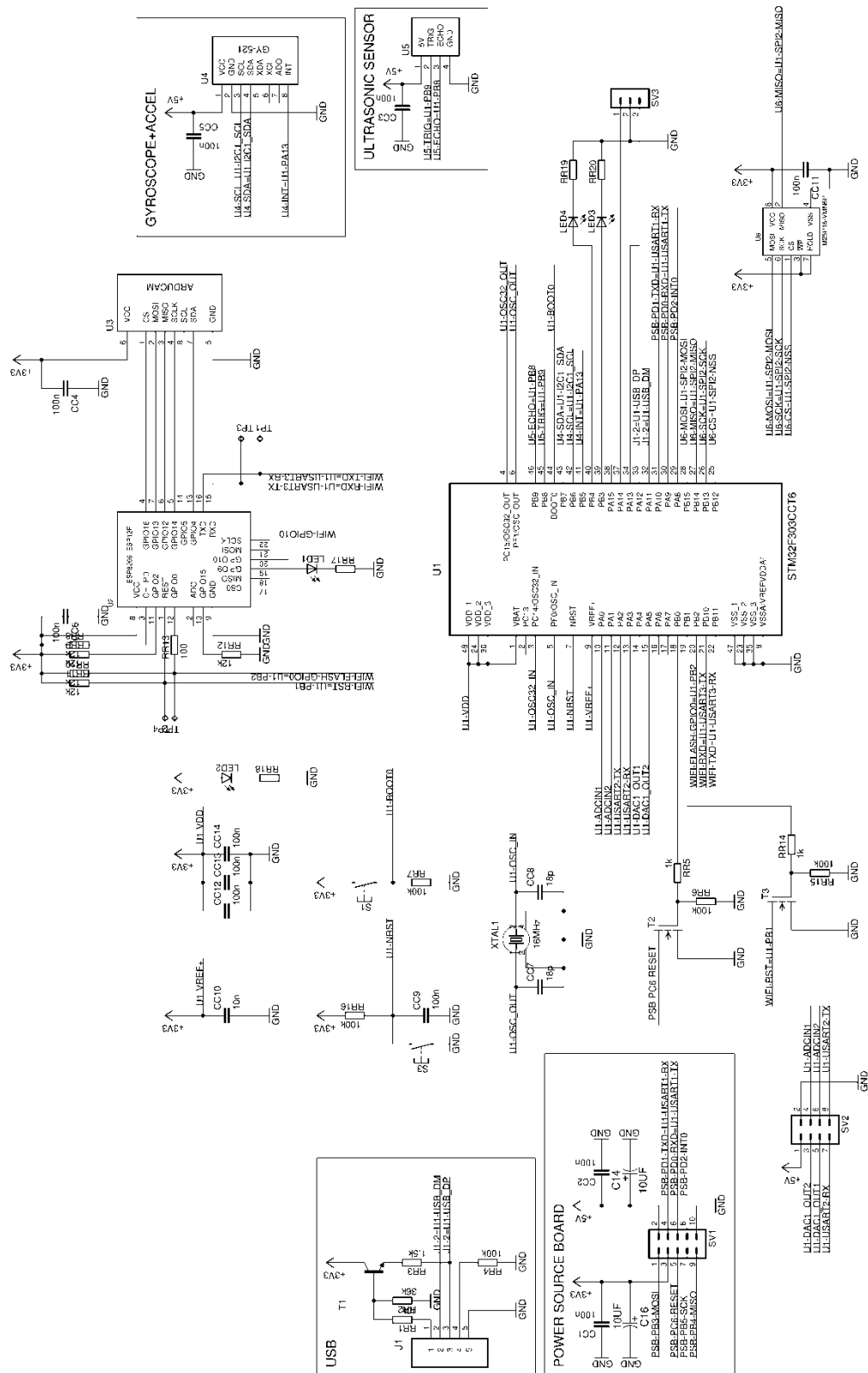
C Zdroj DPS – top



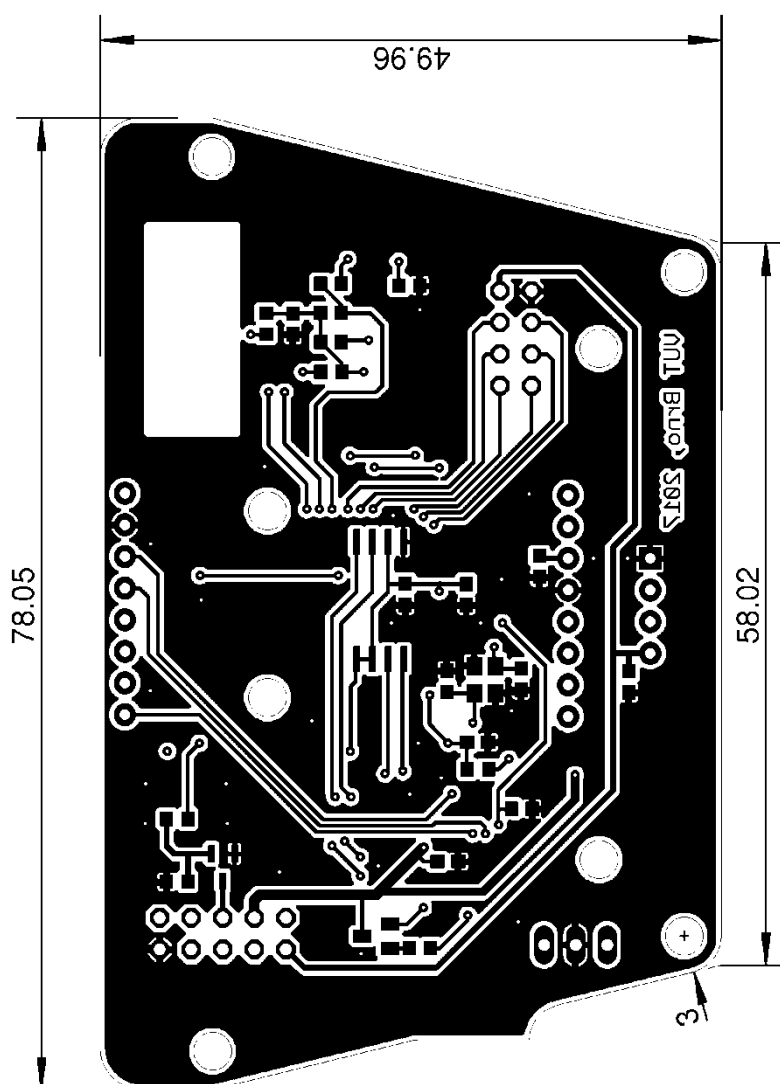
D Fotografie realizované zdrojové desky



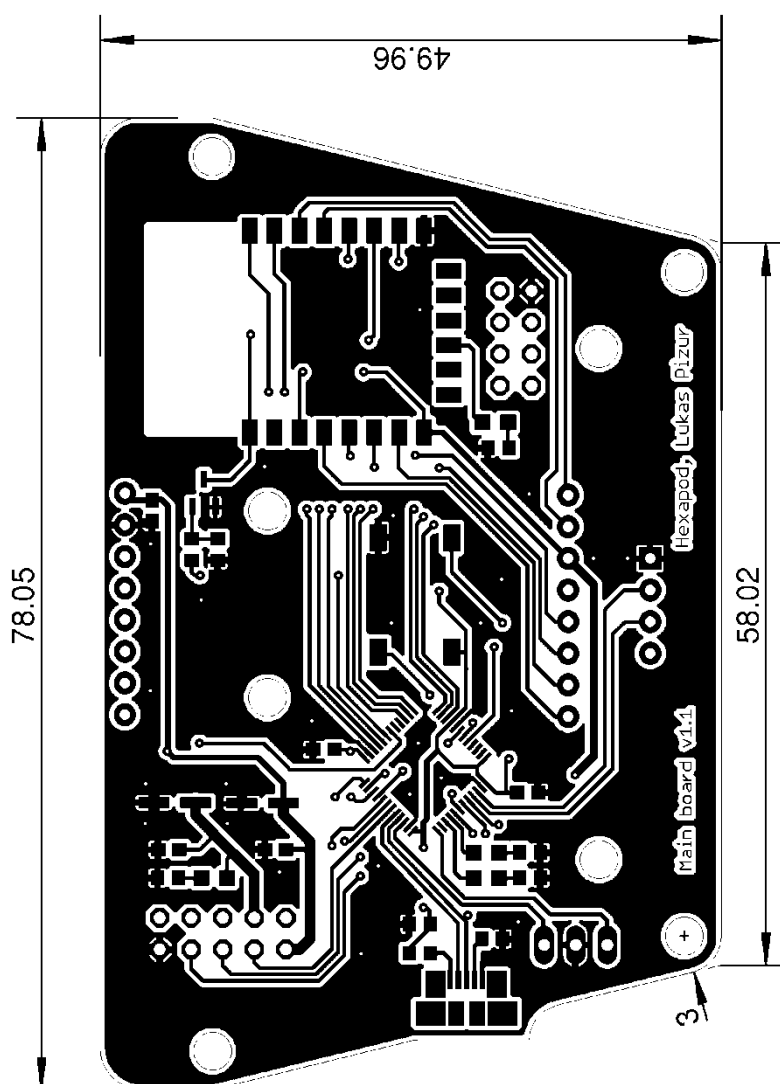
E Kompletní schéma řídicí jednotky



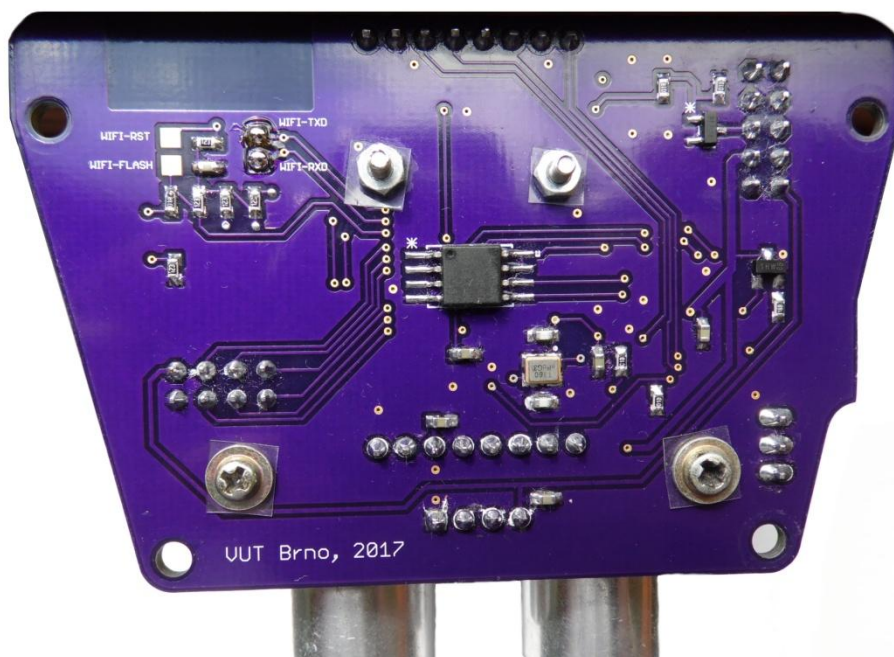
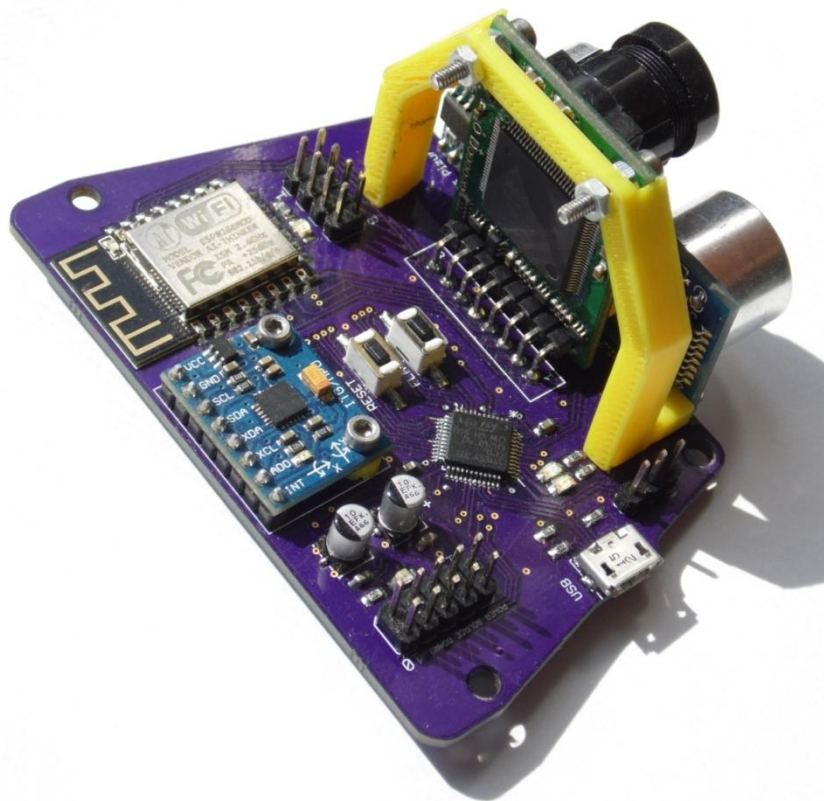
F Řídicí jednotka DPS – bottom



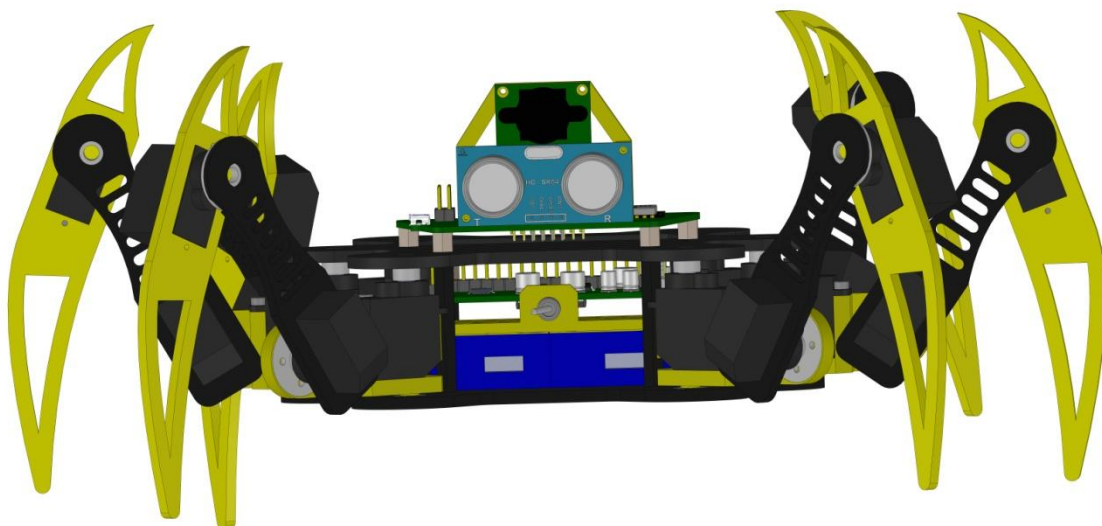
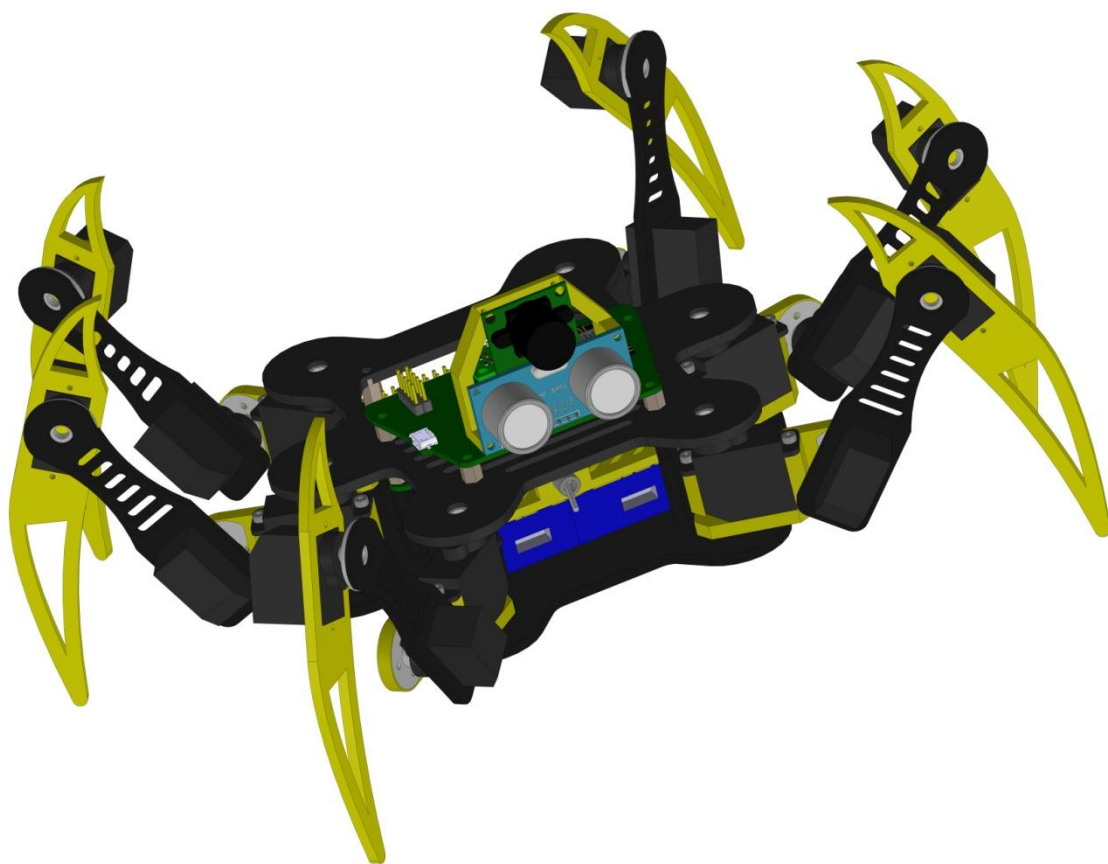
G Řídicí jednotka DPS – top



H Fotografie realizované řídicí desky



I Robot vymodelovaný v programu SolidWorks



J Fotografie vyrobeného robota

